

ANALYSE DES IMPACTS DU CYCLE DE VIE DES VOIES DE VALORISATION DES RÉSIDUS DE
CHOCOLAT DANS UNE PERSPECTIVE D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Par
Michaël Desrochers

Essai présenté au Centre universitaire de formation
en environnement et développement durable en vue
de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Monsieur Ben Amor

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Janvier 2018

SOMMAIRE

Mots clés : Analyse du cycle de vie, gestion des matières résiduelles, matière organique, résidus de chocolat, économie circulaire, valorisation, Chocolat Lamontagne

Les résidus de chocolat constituent d'importantes pertes financières pour Chocolat Lamontagne. En outre, le gouvernement provincial prévoit bannir la matière organique des lieux d'enfouissement dès 2020. Ce faisant, l'objectif principal de cet essai vise à déterminer la meilleure voie de valorisation de ces résidus d'un point de vue environnemental et économique, et ce, dans une perspective d'économie circulaire.

Pour y parvenir, les matières résiduelles organiques concernées sont d'abord caractérisées, ce qui permet de les regrouper en fonction des méthodes de gestion actuelles. En effet, sur un total d'environ 280 t de résidus de chocolat composés principalement de glucides et de lipides, 140 t sont refondues, 100 t sont destinées à l'alimentation animale, 30 t sont envoyées à l'enfouissement, 6 t sont vendues au rabais et 5 t sont offertes en donation. De plus, une revue des voies de valorisation des matières organiques est réalisée en considérant les possibilités de synergies industrielles, identifiant le compostage et l'entomoculture comme les filières présentant le meilleur potentiel pour l'organisation. Puis, une analyse du cycle de vie offre une comparaison des impacts environnementaux des scénarios à l'étude. Celles-ci démontrent que la refonte du chocolat permet d'éviter le plus d'impacts, alors que l'enfouissement en cause le plus. Par ailleurs, les autres scénarios mènent à l'évitement d'impacts similaires, ce qui ne permet pas de les départager en fonction de ce seul paramètre. Quant à l'analyse économique, les résultats révèlent que la refonte est la seule option rentable. L'entomoculture est ensuite l'option représentant le moins de pertes, suivi par l'alimentation animale et le compostage.

En somme, lorsque la réduction à la source de la production de résidus de chocolat n'est pas possible, il est recommandé d'effectuer la refonte de ceux-ci. Si cette option n'est pas envisageable, l'entomoculture constitue la meilleure option.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier chaleureusement les membres de Chocolat Lamontagne impliqués de près ou de loin dans ce projet pour leur aide, leur disponibilité et pour la confiance qu'ils m'ont offerte tout au long du projet. Particulièrement, j'aimerais faire valoir mon admiration pour Anick et Claude Turgeon qui ont fait preuve d'une grande ouverture et générosité. Deux personnes fort sympathiques, ils ont démontré leur motivation quant aux efforts qu'ils sont prêts à déployer pour l'environnement et pour le développement de l'organisation. Je remercie également mon directeur d'essai Ben Amor ainsi que son professionnel de recherche Bastien Roure pour leur générosité, leur support, leur patience et leurs conseils précieux. Ils ont su m'enlever de la pression et rendre la tâche plus facile. Puis, je remercie mon amie Kathy Archambault, qui a eu la gentillesse de commenter mon travail, en plus de m'avoir supporté tout au long de mon essai. Finalement, je remercie l'équipe de Mitacs pour le financement, les suggestions pertinentes et l'opportunité.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
1. CARACTÉRISATION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES ORGANIQUES	5
1.1 Résidus de l'industrie de la fabrication de confiseries à partir de chocolat.....	5
1.1.1 Production des résidus.....	5
1.1.2 Constituants des produits chocolatés.....	6
1.1.3 Portrait des modes de gestion des résidus de chocolat utilisés par les entreprises québécoises...	8
1.2 Résidus de Chocolat Lamontagne	10
1.2.1 Refonte	10
1.2.2 « Recyclage » ou alimentation animale.....	12
1.2.3 Déchets organiques.....	15
1.2.4 Dons alimentaires	19
1.2.5 « Écono » ou ventes en boutique.....	19
1.2.5 Résumé.....	20
2. VOIES DE VALORISATION DES RÉSIDUS DE CHOCOLAT	20
2.1 Compostage.....	22
2.1.1 Principe.....	22
2.1.2 Impacts environnementaux.....	24
2.1.3 Aspect économique	24
2.1.4 Volet social.....	25
2.1.5 Portrait québécois	26
2.1.6 Région de Sherbrooke	26
2.2 Entomoculture	27
2.2.1 Impacts environnementaux.....	27
2.2.2 Valeur nutritionnelle.....	30
2.2.3 Aspect économique	31
2.2.4 Acceptabilité sociale.....	33

2.2.5 Portrait québécois	33
2.2.6 Entosystem	34
2.3 Alimentation animale	36
2.4 Dons alimentaires	37
3. ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU CYCLE DE VIE	39
3.1 Outil d'ACV	39
3.1.1 Description de l'ACV	39
3.1.2 Logiciel d'ACV	41
3.1.3 Base de données d'ACV	42
3.2 Définition des objectifs et du champ de l'étude	42
3.2.1 Hypothèses	47
3.2.2 Limitations	48
3.3 Inventaire	49
3.3.1 Scénario 0 : Référence	49
3.3.2 Scénario 1 : Compostage	50
3.3.3 Scénario 2 : Entomoculture	51
3.4 Analyse des résultats	51
3.4.1 Analyse de sensibilité	54
3.4.2 Résumé	56
4. ANALYSE ÉCONOMIQUE	57
4.1 Méthodologie	57
4.2 Détail des différents scénarios	57
4.3 Résultats et analyse	59
4.3.1 Présentation des résultats	59
4.3.2 Analyse des résultats	62
5. RECOMMANDATIONS ET LIMITES DE L'ÉTUDE	63
5.1 Recommandations	63

5.2 Limites du projet	64
CONCLUSION	66
RÉFÉRENCES.....	68
ANNEXE 1 : EXIGENCES DE COMPOSITION DE DIFFÉRENTS TYPES DE CHOCOLATS	76
ANNEXE 2 : TYPES ET SOURCES DES DONNÉES	78
ANNEXE 3 : RÉSULTATS DES CATÉGORIES DE PROBLÈMES.....	80

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1	Photo d'un échantillon de résidus de chocolat allant à l'alimentation porcine.....	14
Figure 2.1	Processus de compostage.....	22
Figure 2.2	Étapes du processus de compostage.....	23
Figure 2.3	Rendements des productions comparées de viandes conventionnelles et de grillons.....	28
Figure 2.4	Production de GES et d'ammoniaque par kg de gain de masse pour trois espèces d'insectes, les porcs et les bovins.....	29
Figure 2.5	Production de gaz à effet de serre (potentiel de réchauffement planétaire), consommation énergétique et surfaces consacrées à la production d'un kg de protéines de ver de farine, de lait, de porc, de poulet et de bœuf.....	30
Figure 2.8	Schéma de différents scénarios de production de <i>Hermetia illucens</i>	36
Figure 2.9	Hierarchie de récupération des résidus alimentaires de l'EPA.....	38
Figure 3.1	Schéma du cycle de vie.....	40
Figure 3.2	Représentation schématisée des différents scénarios à l'étude.....	46
Figure 3.3	Comparaison des impacts du cycle de vie du scénario de référence et des deux scénarios de traitement du chocolat.....	52
Figure 3.4	Comparaison des impacts des 4 sous-scénarios de référence avec les 2 scénarios de traitement du chocolat.....	52
Figure 3.5	Comparaison des 4 sous-scénarios de référence.....	53
Figure 3.6	Comparaison des 2 sous-scénarios de référence qui présentent le plus grand potentiel de changement avec les 2 scénarios de traitement du chocolat.....	53
Figure 4.1	Projection des coûts à la tonne liée à la gestion des résidus de chocolat selon les différents scénarios étudiés, en excluant la valeur des produits.....	61
Figure 4.2	Projection des coûts à la tonne liée à la gestion des résidus de chocolat selon les différents scénarios étudiés, en incluant la valeur des produits.....	62
Tableau 1.1	Estimation des quantités de résidus organiques solides générés par le secteur du sucre et confiseries.....	6
Tableau 1.2	Exemples de produits alimentaires pouvant contenir du chocolat.....	6
Tableau 1.3	Liste d'additifs alimentaires pouvant être ajoutés aux produits chocolatés selon la norme CODEX STAN 87-1981.....	7
Tableau 1.4	Table de composition nutritionnelle pour 100 g d'aliments chocolatés.....	7
Tableau 1.5	Modes de gestion des résidus de chocolat des entreprises québécoises qui oeuvrent dans le secteur de la fabrication de confiseries à partir de chocolat acheté ayant un chiffre d'affaires supérieur à 1 M\$.....	9
Tableau 1.6	Principaux produits refondus durant la période du 1er juin 2017 au 31 mai 2018.....	11
Tableau 1.7	Composition moyenne des résidus de refonte sur une base de 100 g.....	12
Tableau 1.8	Principaux produits allant à l'alimentation porcine durant la période du 1er juin 2017 au 31 mai 2018.....	13
Tableau 1.9	Composition moyenne des résidus envoyés à l'alimentation animale sur une base de 100 g.....	14
Tableau 1.10	Détails des expéditions effectuées lors de l'année 2017-2018 pour l'alimentation porcine.....	15
Tableau 1.11	Exemples de raisons qui ont mené au rejet ou à la destruction de certains produits durant la période de juin 2017 à mai 2018.....	16
Tableau 1.12	Détail des résidus organiques envoyés à l'enfouissement.....	17
Tableau 1.13	Principaux produits détruits/jetés durant la période du 1er juin 2017 au 31 mai 2018.....	18
Tableau 1.14	Composition moyenne des résidus détruits/jetés sur une base de 100 g.....	18
Tableau 1.15	Résumé des présents modes de gestion des résidus de chocolat de l'organisation.....	20

Tableau 2.1	Synthèse des technologies applicables pour la mise en valeur des matières organiques résiduelles.....	21
Tableau 2.2	Contribution du secteur élevage aux émissions de GES.....	28
Tableau 2.3	Forces, faiblesses, possibilités et menaces entourant la consommation d'insectes.....	32
Tableau 2.4	Entreprises canadiennes se consacrant à la production et à la transformation d'insectes comestibles au Canada en 2017.....	34
Tableau 3.1	Description des quatre phases de l'analyse du cycle de vie.....	41
Tableau 3.2	Définition des objectifs et du champ de l'étude selon les exigences des normes ISO 14040 et 14044.....	42
Tableau 3.3	Liste des hypothèses posées par scénario.....	47
Tableau 4.1	Détail des données financières utilisées pour la réalisation de l'analyse économique en fonction des différents scénarios.....	58

LISTE DES ACRONYMES ET DES SIGLES

3RV-E	Réduction à la source, Réemploi, Recyclage, Valorisation, Enfouissement
ACC	Analyse des coûts du cycle de vie
ACIA	Agence canadienne d'inspection des aliments
ACV	Analyse du cycle de vie
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail
BAQ	Les Banques alimentaires du Québec
BNQ	Bureau de normalisation du Québec
CAC	<i>Codex Alimentarius Commission</i>
CCP	Point de contrôle critique
CH ₄	Méthane
Ciqua	Centre d'information sur la qualité des aliments
CIRAIG	Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services
CMM	Communauté métropolitaine de Montréal
CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	Gaz carbonique
CP	Point de contrôle
CRIQ	Centre de recherche industrielle du Québec
DD	Développement durable
DR	Délais de récupération
EPA	United States Environmental Protection Agency
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FCÉN	Fichier canadien sur les éléments nutritifs
FFOM	Forces, faiblesses, opportunités et menaces
GES	Gaz à effet de serre
GNC	Gaz naturel comprimé
H ₂	(di) Hydrogène
ICI	Industries, commerces et institutions
ICV	Inventaire du cycle de vie
ISO	Organisation internationale de normalisation
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LES	Lieu d'enfouissement sanitaire

LET	Lieu d'enfouissement technique
LIRIDE	Laboratoire interdisciplinaire de recherche en ingénierie durable et écoconception
LQE	Loi sur la qualité de l'environnement
MDDELCC	Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
NH ₃	Ammoniaque
N ₂ O	Protoxyde d'azote
PIB	Produit intérieur brut
PQGMR	Politique québécoise de gestion des matières résiduelles
PRP	Potentiel de réchauffement planétaire
PTMOBC	Programme de traitement des matières organiques par biométhanisation et compostage
SCIAN	Système de classification des industries de l'Amérique du Nord
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SI	Système international d'unités
TRI	Taux de rendement interne
UF	Unité fonctionnelle
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
UVED	Université Virtuelle Environnement et Développement Durable
VAN	Valeur actuelle nette
WHO	<i>World Health Organization</i>

INTRODUCTION

Au cours des dernières années, le Québec s'est engagé activement dans une démarche de développement durable (DD) par l'adoption de politiques et de programmes qui reposent sur la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE). Cette nouvelle approche a pour objectif de poursuivre le développement économique de la province tout en réduisant ses impacts environnementaux et en améliorant la qualité de vie des citoyens. (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs [MDDEP], 2011)

Parmi les éléments qui s'inscrivent dans une économie verte, la protection des ressources naturelles constitue un des huit enjeux se retrouvant dans la Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020 du Québec (Ministère du Développement durable, Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques [MDDELCC], 2015a). L'utilisation de ces ressources représentant d'importantes contributions tant sur le plan économique que social, il est primordial de les gérer de façon responsable pour en assurer la pérennité. À titre indicatif, l'utilisation des ressources naturelles représentait 10,2 % du produit intérieur brut (PIB) et 4,5 % de l'ensemble des emplois en 2013, alors que le secteur bioalimentaire représentait environ 7 % du PIB et 12 % des emplois. (MDDELCC, 2015b)

Par ailleurs, dans le Plan d'action 2011-2015 de la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles (PQGMR), le gouvernement s'est fixé des objectifs de recyclage afin de réduire la quantité de matières résiduelles destinées à l'enfouissement, qui s'élève à plus de 13 millions de tonnes par année. Une des actions mises en place pour atteindre l'objectif de recyclage des matières organiques de 60 % consiste en le bannissement de l'enfouissement de toute matière organique d'ici 2020, qui s'appliquera tant pour le secteur résidentiel que pour le secteur des industries, commerces et institutions (ICI). (MDDEP, 2011; Recyc-Québec, s. d.) Ce faisant, pour se contraindre à cette interdiction, plusieurs entreprises œuvrant dans le secteur agroalimentaire auront à s'adapter et à trouver de nouvelles voies de valorisation.

Selon le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), le secteur de la fabrication d'aliments comprend plusieurs groupes distincts, dont la fabrication de sucre et de confiseries (Statistiques Canada, 2016). Dans ce sous-secteur, une étude réalisée par la firme d'experts-conseils en gestion des matières organiques SOLINOV, intitulée Portrait du gisement de résidus organiques de l'industrie agroalimentaire au Québec et estimation des aliments consommables gérés comme des résidus par les ICI de la filière de l'alimentation, a révélé que 50 % des résidus organiques solides sont envoyés à l'enfouissement (SOLINOV, 2013).

Bien que ce chiffre semble révélateur d'une problématique de gestion de la matière organique dans ce secteur d'activité, il faut faire preuve de prudence lors de son interprétation. En effet, le taux de réponse de

ce sondage n'a été que de 8 %, ce qui correspond à 6 répondants sur 74 établissements du groupe d'activité sucre et confiseries (SOLINOV, 2013). Cela est insuffisant en termes d'échantillonnage pour tirer des conclusions claires. Par contre, ce sont les seules données disponibles à ce sujet présentement, d'où leur utilisation. Le même constat a d'ailleurs été réalisé dans les essais d'Iris Simard Tremblay et d'Éric Ménard, ainsi que dans l'Inventaire des matières résiduelles de l'année 2014 de la Ville de Sherbrooke. (Simard Tremblay, 2015; Ménard, 2013; Macquet, 2014)

Considérant que plusieurs entreprises, avec des contraintes qui leur sont propres, n'ont pas les ressources nécessaires pour déterminer la voie de valorisation optimale de leurs matières organiques résiduelles et que la limite temporelle pour effectuer ces changements est relativement courte, ce travail pourrait fournir des pistes de solutions pertinentes pour les entreprises du secteur agroalimentaire.

De façon plus précise, ce projet de maîtrise fut réalisé en collaboration avec l'entreprise québécoise Chocolat Lamontagne, qui œuvre dans la fabrication de confiseries à partir de chocolat acheté dans la région de l'Estrie – SCIAN 311352 (Centre de recherche industrielle du Québec [CRIQ], 2017). Au moment de la réalisation de ce travail, une part significative des résidus de chocolats était envoyée directement à l'enfouissement, alors que la majeure partie était destinée à l'alimentation porcine, qui s'avère peu lucrative. Ce faisant, la présente gestion des matières organiques représente des pertes financières importantes pour l'organisation, qui tente de conserver sa compétitivité sur le marché. (Turgeon, A. conversation en personne, 1er Mars 2018)

C'est donc pour respecter le bannissement de la matière organique des lieux d'enfouissement, ainsi que dans une optique de rentabilité et de développement durable que Chocolat Lamontagne désire évaluer les voies de valorisation alternatives pour ses matières organiques résiduelles.

À cet égard, quelques études ont porté sur les options de valorisation de différents résidus organiques dans le contexte québécois :

- Valorisation des rejets organiques de Biscuits Leclerc liée par production de compost de haute qualité (Boutin, 2009);
- Modes de gestion des biosolides des usines de pâtes et papiers au Québec : Analyse comparative (Primeau, 2014);
- Une récupération spécifique du marc de café aurait-elle une plus-value pour la communauté? Cas de l'Île de Montréal (Carassou, 2015);

- Mise en valeur des drêches de microbrasserie et outils d'aide à la décision pour les spécialistes en environnement (Labelle, 2017).

Bien que la plupart des voies de valorisation des matières organiques soient présentées dans ces études, elles ne sont pas directement applicables aux résidus provenant de l'industrie chocolatière. De plus, l'aspect de la synergie industrielle est peu traité, alors que ce pourrait s'avérer une option de valorisation favorable dans une perspective d'économie circulaire. Cela pourrait en effet permettre d'obtenir un retour monétaire pour les résidus, en plus de favoriser l'économie locale. En outre, aucune évaluation des impacts environnementaux du cycle de vie n'a été réalisée sur ces options de valorisations pour documenter leurs avantages environnementaux. L'objet de ce projet de maîtrise a donc le potentiel de répondre à une problématique qui n'est que partiellement traitée pour l'instant.

Ainsi, l'objectif général de cet essai consiste à déterminer la voie de valorisation optimale des résidus organiques générés par l'entreprise Chocolat Lamontagne, dans ce cas-ci des résidus de chocolat, et ce, en prenant en considération les impacts économiques et environnementaux du cycle de vie. Pour y parvenir, trois objectifs spécifiques devront être atteints :

1. Caractériser les résidus organiques solides (c.-à-d. le chocolat) à valoriser;
2. Réaliser une revue des méthodes de valorisation des résidus organiques tels que les résidus de l'industrie chocolatière et dresser un portrait des possibilités qui s'offrent à une entreprise comme Chocolat Lamontagne en matière de synergies industrielles pour la valorisation de ses résidus de chocolat;
3. Faire une analyse comparative des méthodes de valorisation identifiées à l'aide de l'analyse du cycle de vie (ACV) sur le plan environnemental et un bilan financier sur le plan économique, en respectant les principes des normes de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) ISO 14040 et ISO 14044.

Pour l'atteinte de ces objectifs, ce travail a été séparé en quatre chapitres. Le chapitre 1, qui se veut une caractérisation des matières résiduelles organiques produites par Chocolat Lamontagne, répond au premier objectif spécifique. On y dresse d'abord un portrait des résidus de l'industrie de la fabrication de confiserie à partir de chocolat, afin d'illustrer la grande variété des matières à valoriser. Puis, de façon plus spécifique, on explore les résidus générés par l'entreprise partenaire de ce projet en fonction des différents gisements. À cette étape, la majeure partie des informations a été récoltée auprès des employés de l'organisation et des documents internes de l'organisation.

Le second chapitre passe en revue les différentes voies de valorisation des résidus de chocolat. Une emphase est mise sur le compostage et l'entomoculture, deux méthodes de valorisation qui ont été identifiées comme étant les plus intéressantes dans le contexte de ce projet suite aux recherches effectuées par l'organisme Synergie Estrie. Le chapitre 2 présente donc le principe derrière ces méthodes de valorisation, leurs impacts environnementaux, économiques et sociaux, ainsi qu'un portrait régional. Puis, une courte description de l'alimentation animale et des dons alimentaires, deux autres voies de valorisation déjà en place chez l'entreprise, est faite. Pour le compostage, la principale source d'information consultée est le Document technique sur la gestion des matières organiques municipales d'Environnement Canada, qui se veut un ouvrage gouvernemental de référence sur le sujet. En ce qui concerne l'entomoculture, les travaux de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), comme La contribution des insectes à la sécurité alimentaire, aux moyens de subsistance et à l'environnement, de même que l'essai de maîtrise de Médhavi Dussault intitulé Étude de faisabilité du déploiement de l'industrie des insectes destinés à l'alimentation humaine au Québec, constituent les principales sources d'informations consultées, en raison de leur exhaustivité.

Le chapitre 3 porte sur la réalisation de l'analyse environnementale du cycle de vie des méthodes de valorisations sélectionnées, en comparaison avec la situation actuelle. D'abord, on y décrit les outils d'analyse du cycle de vie utilisés. Par la suite, les objectifs et le champ de l'étude sont définis selon les exigences des normes de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) en lien avec le sujet, soit ISO 14040 et 14044. S'en suit une description de l'inventaire du cycle de vie ayant servi à la réalisation de la modélisation informatique, laquelle a été effectuée sur le logiciel SimaPro en consultant la banque de données ecoinvent. On termine avec une présentation et une analyse des résultats.

Le chapitre 4 se veut une brève analyse économique des différents scénarios, où l'on tente de mettre en évidence la méthode de valorisation qui soit la plus avantageuse d'un point de vue financier. Prenant la forme d'un bilan, les résultats sont présentés de façon brute, ainsi qu'en prenant en considération la valeur économique des produits. Par ailleurs, il est à noter que pour des questions de confidentialité, certaines informations ont été retirées de ce travail à la discrétion des membres de Chocolat Lamontagne, notamment la majorité des données financières.

Finalement, en fonction des résultats obtenus dans les chapitres 3 et 4, des recommandations seront émises quant aux options qui présentent le meilleur profil de valorisation.

1. CARACTÉRISATION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES ORGANIQUES

Le chapitre 1 a pour objectif de présenter la nature et la quantité de résidus organiques solides provenant du secteur de la fabrication de confiseries à partir de chocolat, en plus de caractériser les matières résiduelles organiques solides générées par Chocolat Lamontagne. Ces informations serviront à déterminer les voies de valorisation des matières organiques qui seraient adaptées à ces résidus, ainsi qu'à réaliser la modélisation des impacts environnementaux de leur cycle de vie.

1.1 Résidus de l'industrie de la fabrication de confiseries à partir de chocolat

En raison de la grande variété de produits générés, les résidus de l'industrie de la fabrication de confiserie à partir de chocolat sont très variables en termes de quantité et de composition. Cette section présentera donc le portrait des quantités de matières générées par ce secteur, ainsi que les constituants qui peuvent être contenus dans des résidus de produits chocolatés de façon générale.

1.1.1 Production des résidus

Dans le secteur des ICI au Québec, la fabrication/transformation d'aliments et de boissons est responsable d'environ 68 % des matières résiduelles organiques qui sont générées, ce qui correspond à près de 1 300 000 t/an. On y retrouve, en ordre d'importance, des sous-produits de transformation primaire et secondaire non consommables, les pertes d'aliments transformés non consommables, et les pertes d'aliments transformés consommables. (SOLINOV, 2013)

De façon plus précise, le sous-secteur de la fabrication de sucre et de confiseries représente une génération de matières résiduelles organiques solides de près de 10 700 t/an au Québec, dont seulement 27 t sont considérées comme consommables. De cette quantité, il est possible de poser l'hypothèse qu'une fraction significative provient du sous-secteur de la fabrication de confiserie à partir de chocolat acheté, puisqu'il représente environ les deux tiers des entreprises du secteur de la fabrication de sucre et de confiseries. Puis, comme le présente le tableau 1.1, une quantité importante de matières n'est pas valorisée. (SOLINOV 2013)

Selon une étude réalisée par la firme Bio Intelligence Service, les causes principales de ces pertes sont l'emballage, la logistique, le contrôle de la qualité des produits, et les difficultés techniques (Bio Intelligence Service, 2010). Ainsi, un défaut d'étiquetage ou d'emballage, une erreur de recette, des problèmes d'entreposage et de conservation, ou des sous-produits non valorisés sont des exemples d'éléments responsables des résidus organiques provenant de la fabrication d'aliments (SOLINOV 2013).

Tableau 1.1 Estimation des quantités de résidus organiques solides générés par le secteur du sucre et confiseries (adapté de SOLINOV, 2013)

Modes de gestion	Quantités (t an ⁻¹)	Proportion (%)
Alimentation humaine	18	< 1
Alimentation animale et équarrissage	105	1
Traitement biologique	5 271	49
Traitement thermique	0	0
Enfouissement	5 288	50
Total	10 682	100

1.1.2 Constituants des produits chocolatés

Pour être considéré comme du chocolat ou un produit fait de chocolat, l'aliment doit respecter certaines proportions de matières premières lors de sa fabrication. Celles-ci sont déterminées par le Codex Alimentarius Commission (CAC), une commission intergouvernementale administrée conjointement par le Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) et le World Health Organization (WHO) (United States Department of Agriculture [USDA], 2017). À cet égard, le tableau A.1 présente une synthèse des exigences de composition pour les différents types de chocolat qui se retrouvent dans la norme CODEX STAN 87-1981, qui régit cet aliment.

De surcroît, le chocolat peut être agencé à plusieurs types d'aliments par un enrobage (ex. : fruits ou noix enrobés) ou un simple mélange par exemple. Le tableau 1.2 présente une liste non exhaustive de certains types de produits dans lesquels il est possible de retrouver du chocolat.

Tableau 1.2 Exemples de produits alimentaires pouvant contenir du chocolat (Ciquel, s.d.)

Tablettes, barres, bouchées	Boissons aromatisées au chocolat
Viennoiseries (ex. : pain au chocolat)	Desserts lactés : (ex. : mousse au chocolat)
Gâteaux et pâtisseries (ex. : brownie, tarte, beignet)	Biscuits sucrés
Céréales	Sauces sucrées
Barres céréalières	Boissons à reconstituer (ex. : poudre cacaotée)
Crème glacée	Yogourts

En plus de la diversité des chocolats qui existent, plusieurs additifs alimentaires peuvent être ajoutés au produit de base, tel que présenté dans le tableau 1.3.

Tableau 1.3 Liste d'additifs alimentaires pouvant être ajoutés aux produits chocolatés selon la norme CODEX STAN 87-1981 (CAC, 2003)

Agents alcalinisants et neutralisants	Régulateurs d'acidité
Émulsifiants	Aromatisants
Édulcorants	Agents de glaçage
Agents de charge	Auxiliaires technologiques
Antioxygènes	Colorants

Cela démontre que les produits chocolatés peuvent varier grandement en termes de constituants. De ce fait, il est difficile de mettre un chiffre précis sur la composition d'un type de chocolat. Le tableau 1.4 présente donc des plages de valeurs des principaux éléments qui composent les grands types de chocolats, selon le Centre d'information sur la qualité des aliments (Ciqal) de l'Agence nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail (Anses).

Tableau 1.4 Table de composition nutritionnelle pour 100 g d'aliments chocolatés*

Constituant	A		B		C		D	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Protéines (g)	4	9	4	8	5	9	4	10
Glucides (g)	35	67	43		39	63	43	66
Lipides (g)	24	57	23	45	27	41	24	41
Eau (g)	1		1		1		1	2

A : Chocolat blanc, tablette (Ciqal, 2017a)

B : Chocolat noir à moins de 70 % de cacao, à croquer, tablette (Ciqal, 2017b)

C : Chocolat noir à 40 % de cacao minimum, à pâtisser, tablette (Ciqal, 2017c)

D : Chocolat au lait, tablette (Ciqal, 2017d)

*Il est à noter que différentes sources peuvent être utilisées afin d'obtenir des données similaires, comme le Fichier canadien sur les éléments nutritifs (FCÉN) de Santé Canada ou le USDA Food Composition Databases du United States Department of Agriculture (USDA) (Santé Canada, 2018; USDA, 2018). Puis,

outre ces 4 constituants, le chocolat contient des vitamines en différentes concentrations, de même que plusieurs oligo-éléments comme du magnésium, du potassium et du fer.

Le chocolat peut également être amalgamé à différents aliments comme des noix ou des fruits, ce qui peut modifier encore davantage le profil de composition, qui est déjà plutôt variable pour le chocolat seul, comme démontré dans le tableau 1.4.

La composition des résidus provenant de l'industrie de la fabrication de confiserie à partir de chocolat varie donc en fonction des matières premières, des additifs, des recettes et des procédés. Ainsi, pour connaître précisément ce qui se trouve dans les résidus de chocolat d'une usine de fabrication, une caractérisation des rejets est essentielle. Sans cela, il faut se rabattre sur des approximations plus ou moins précises en fonction des besoins de l'exercice.

1.1.3 Portrait des modes de gestion des résidus de chocolat utilisés par les entreprises québécoises

Dans l'optique de dresser un portrait des modes de gestion des résidus de chocolat employés par les entreprises québécoises, le Registre d'entreprises du Québec iCRIQ a d'abord été consulté afin d'identifier les différents joueurs du secteur. Les critères de recherche suivants ont été utilisés :

- Fabricants;
- Code SCIAN 311352 (Fabrication de confiseries à partir de chocolat acheté);
- Chiffre d'affaires de 1 M\$ et plus.

Les résultats ont révélé 20 entreprises, dont Chocolat Lamontagne. Celles-ci ont ensuite été contactées pour connaître les différents modes de gestion des résidus de chocolat utilisés. De plus, les informations provenant d'une compagnie américaine ont été ajoutées, puisqu'elles étaient facilement accessibles. Le tableau 1.5 présente les résultats obtenus. Il est à noter que le nom des entreprises a été volontairement omis afin de respecter la confidentialité de celles-ci.

Tableau 1.5 Modes de gestion des résidus de chocolat des entreprises québécoises qui œuvrent dans le secteur de la fabrication de confiseries à partir de chocolat acheté ayant un chiffre d'affaires supérieur à 1 M\$

Entreprises	Modes de gestion					
	Refonte	Vente à rabais	Dons alimentaires	Compostage	Alimentation animale	Enfouissement
1	X					X
2	X				X	
3	X					
4						
5						X
6	X	X	X		X	X
7	X		X			X
8	X	X	X			X
9	X	X		X		
10			N'ont pas voulu divulguer ces informations			
11						
12	X					
13			N'ont pas voulu divulguer ces informations			
14						
15						X
16						
17	X					X
18					X	
19	X					X
20	X					X
21	X				X	X
Total	12	3	3	1	4	10

Parmi les 15 répondants, 12 entreprises œuvrant dans la fabrication de confiseries à partir de chocolat acheté ont signalé faire la refonte du chocolat lorsque possible. Elle constitue donc la méthode privilégiée de gestion des résidus de chocolat. Cela peut s'expliquer par le fait qu'en recyclant le chocolat, les entreprises réduisent leurs pertes de matières premières, ce qui représente des économies substantielles en comparaison aux autres modes de gestion où, dans la plupart des cas, des frais doivent être déboursés pour disposer des résidus. Pour ce qui est de l'enfouissement, 10 répondants ont dit en faire pour leurs résidus de chocolat, principalement lorsque les produits n'étaient pas conformes pour les autres modes de gestion employés. De

plus, presque la totalité des entreprises présentant un faible volume de résidus de chocolat les jette directement aux ordures, puisque l'impact financier et environnemental est considéré comme négligeable. Cela se veut également le mode de gestion le plus simple pour les entreprises qui ne sont pas desservies par la collecte sélective à trois voies. Vient ensuite l'alimentation animale, avec 4 entreprises l'ayant sélectionnée, puis la vente à rabais et les dons alimentaires avec 3 répondants. Un fait notable est qu'après la refonte, l'alimentation animale semble le mode de gestion privilégié lorsque les industries présentent de grands volumes de résidus à disposer. Finalement, la liste se termine avec 1 répondant qui utilise la collecte sélective à trois voies de sa municipalité pour faire du compostage.

Il existe plusieurs autres méthodes de valorisation des résidus organiques, mais seules celles présentées dans le tableau 1.5 sont employées par les entreprises de ce secteur au Québec. De ce fait, Chocolat Lamontagne a le potentiel d'être à l'avant-garde en adoptant un ou plusieurs modes de gestion différents.

1.2 Résidus de Chocolat Lamontagne

Les informations contenues dans cette section ont presque exclusivement été récoltées auprès des employés et de la documentation de l'entreprise Chocolat Lamontagne. Or, au moment de la rédaction de cet essai, le suivi des résidus de chocolat n'était pas systématiquement effectué, ce qui fait en sorte que les données recueillies se rapprochent d'une année typique, sans pour autant être pleinement représentatives.

Les résidus organiques solides de Chocolat Lamontagne sont divisés en 5 types distincts qui définissent leur mode de gestion, soit la refonte, le « recyclage » (qui sera désigné par l'alimentation animale pour les suites du travail), les déchets (ou l'enfouissement), les dons alimentaires et l'« écono » (ou la vente en boutique). Ces derniers seront détaillés dans les prochaines sections.

1.2.1 Refonte

La refonte correspond au chocolat qui est refondu, puis recyclé dans le procédé. Pour être admissibles à cette voie de récupération, les résidus de chocolats doivent répondre aux critères suivants :

- Ne pas faire partie d'un produit déjà emballé (il serait parfois trop laborieux d'enlever l'emballage manuellement);
- Ne pas être susceptibles de voir leurs propriétés organoleptiques altérées lors de la refonte (par exemple, les produits contenant de l'érable, de la menthe, du sel de mer, de la noix de coco ou du café ne peuvent pas être refondus puisque ces saveurs sont trop fortes) (J. Perreault, conversation en personne, 2 mai 2018);

- Doivent être considérés comme étant toujours propre à la consommation humaine. (C. Turgeon, conversation en personne, 2 mai 2018)

Selon la définition du principe hiérarchique des 3RV-E (réduction à la source, réemploi, recyclage, valorisation et enfouissement) du MDDELCC, la refonte pourrait être considérée comme du recyclage, puisque le chocolat refondu est réintroduit dans le cycle de fabrication (MDDELCC, s. d.a; MDDELCC, s. d.b). Il s'agit donc d'une opération *a priori* respectueuse de l'environnement par rapport à l'enfouissement. Par contre, d'un point de vue économique, les coûts de gestion de la refonte pourraient ne pas être avantageux (C. Turgeon, conversation en personne, 8 mai 2018). Seule une analyse financière pourrait le confirmer. Néanmoins, pour les fins de ce travail, les matières refondues seront considérées dans les résidus à valoriser, car la quantité est significative. En effet, la masse de chocolat refondu en une année correspond à environ 140 000 kg, ce qui représente 3,2 % de la consommation annuelle de chocolat de l'entreprise et 51 % des résidus de chocolat (C. Hamel, Calcul de recyclage [fichier Excel], 11 juin 2018). Le tableau 1.6 présente les principaux produits refondus durant la période du 1^{er} juin 2017 au 31 mai 2018.

Tableau 1.6 Principaux produits refondus durant la période du 1^{er} juin 2017 au 31 mai 2018

Produits	Quantités en t (% du total)
Chocolat au lait Lamontagne	37 (27)
Barres brisées amandes lait	26 (20)
Barres brisées riz lait	11 (8)
Amandes lait	10 (7)
Amandes 27/30 lait « Clean Label »	7 (5)
Barres brisées caramel Berthelet lait	5 (4)
Chocolat pastille lait Lamontagne	5 (3)
Barres brisées amandes belge	4 (3)
Total de la refonte	135

Il est à noter que les données contenues dans le tableau 1.6 peuvent présenter une légère marge d'erreur, puisqu'elles ont été extraites manuellement à partir de registres contenant certaines erreurs d'entrées. Toutefois, les proportions qui en ressortent permettent d'obtenir un portrait plutôt représentatif des résidus refondus par les divers départements.

Ainsi, à partir des fiches nutritionnelles des produits et de leur proportion respective, il a été possible de déterminer une composition moyenne pour l'ensemble des résidus provenant de la refonte, présentée dans le tableau 1.7.

Tableau 1.7 Composition moyenne des résidus de refonte sur une base de 100 g

Paramètres	Quantités (g)
Glucides	65
Lipides	27
Protéines	6
Eau, minéraux et vitamines	2

Tel qu'attendu, les résidus de la refonte sont particulièrement riches en glucides et en lipides, puisque le chocolat constitue le principal aliment qui les compose.

1.2.2 « Recyclage » ou alimentation animale

Les produits non conformes qui répondent aux 4 critères suivants sont mis dans des boîtes de carton d'un volume de 1,5 m³ destinées à l'expédition pour la fabrication de moulée animale (nommé recyclage dans le cadre de ce projet) :

- Qualité insuffisante ou contact avec le plancher manufacturier;
- Non emballés;
- Ne peuvent pas être refondus à cause de la présence de composés qui altèrent le goût du chocolat ou d'éléments qui ne fondent pas comme des amandes; (J. Perreault, 2 mai 2018)
- Doivent être exempt de contaminants physiques comme des morceaux de bois ou de plastique (C. Turgeon, conversation en personne, 20 juin 2018).

En une semaine, voire même en une journée de production, plusieurs produits différents sont fabriqués, lesquels sont présentés dans le tableau 1.8, et une quantité significative doit être rejetée en vertu de ces critères.

Tableau 1.8 Principaux produits allant à l'alimentation porcine durant la période du 1er juin 2017 au 31 mai 2018 (J-S. Sauriol, Produits fabriqués 2017-2018 (fichier Excel), 30 mai 2018; C. Turgeon, courriel, 13 juin 2018)

Produits	Quantités en t (% du total)*
Amandes lait	24 (17)
Amandes 27/30 lait Clean Label	6 (4)
Amandes 27/30 noir 45 %	6 (4)
Amandes noir 45 % - International Foodsource	5 (4)
Barre caramel lait – Beich	4 (3)
Raisins Thompson à saveur de yogourt – International Foodsource	4 (3)
Amandes noir 73 %	3 (2)
Barre menthe lait – Laura Secord	3 (2)
Total du recyclage	100

*Valeurs basées sur des calculs approximatifs pour offrir un ordre de grandeur. Seuls les produits représentant plus de 1 % (base massique) des résidus ont été présentés. Les pourcentages sont basés sur le total des résidus de chocolat, soit sur environ 280 t.

De ce fait, le contenu des boîtes est très hétérogène, tel qu'illustré à la figure 1.1, et aucun suivi précis n'est effectué. En effet, au moment de la rédaction de cet essai, seules les quantités totales étaient compilées, c'est-à-dire la masse des boîtes pleines. Cela fait donc en sorte que les quantités par type de produit sont inconnues. (B. Chapdelaine, conversation en personne, 8 mai 2018; C. Turgeon, conversation en personne, 8 mai 2018) C'est pourquoi elles n'ont pu être présentées dans le tableau précédent.

Or, une composition moyenne des résidus a pu être calculée à partir du registre de la production annuelle en sélectionnant les produits qui se retrouvent au recyclage. Puis, en fonction de leur proportion respective ainsi que des fiches nutritionnelles, la composition a été extrapolée. Celle-ci est présentée dans le tableau 1.9.

Tableau 1.9 Composition moyenne des résidus envoyés à l'alimentation animale sur une base de 100 g

Paramètres	Quantités (g)
Glucides	60
Lipides	30
Protéines	6
Eau, minéraux et vitamines	4

Par ailleurs, les constituants de ces produits de chocolat font partie de la liste d'ingrédients approuvés pour usage dans les aliments du bétail contenue dans le Règlement sur les aliments du bétail de l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) et peuvent ainsi être envoyés dans l'état actuel à l'alimentation porcine (*Règlement sur les aliments du bétail*).

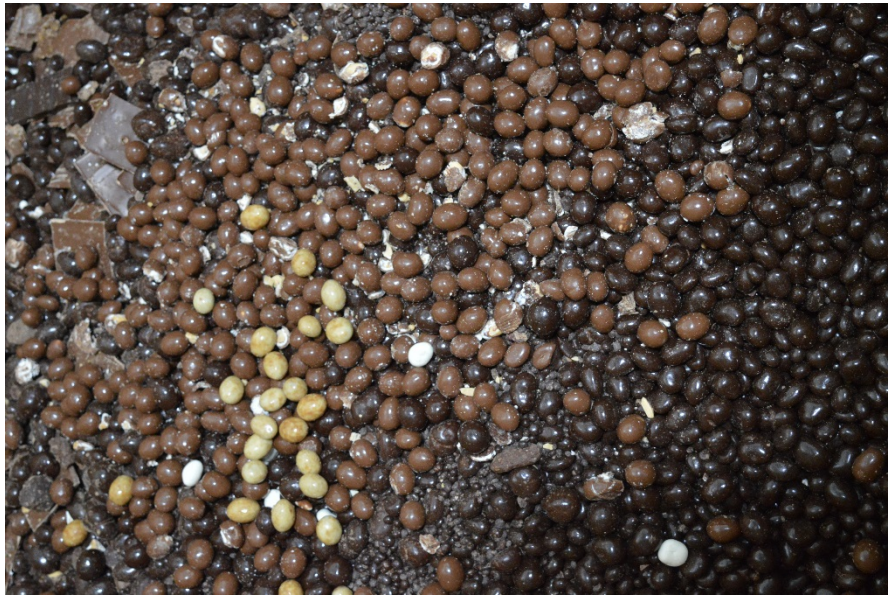


Figure 1.1 Photo d'un échantillon de résidus de chocolat allant à l'alimentation porcine (A. Shiewe, photographie, 16 mai 2018)

Une fois les boîtes pleines et pesées, elles sont entreposées jusqu'à la prochaine expédition au client (B. Chapdelaine, conversation en personne, 8 mai 2018). Le tableau 1.10 présente les détails des expéditions effectuées lors de l'année 2017.

Tableau 1.10 Détails des expéditions effectuées lors de l'année 2017-2018 pour l'alimentation porcine

Éléments expédition	Détails	Source
Client	Confidentiel	(B. Chapdelaine, Bon de commande du 16 avril 2018, 8 mai 2018)
Type d'entreprise	Confidentiel	(Agence canadienne d'inspection des aliments [ACIA], 2018)
Adresse	Confidentiel	(B. Chapdelaine, Bon de commande du 16 avril 2018, 8 mai 2018)
Transporteur	Confidentiel	(C. Hamel, conversation en personne, 22 mai 2018)
Camion transport	Camions 53 pieds, remorque standard	(B. Chapdelaine, courriel, 8 mai 2018)
Coût de transport	0 \$	(C. Hamel, conversation en personne, 22 mai 2018)
Distance expédition	≈ 75 km	(Google Maps, 2018a)
Quantité totale vendue	≈ 100 000 kg (36 % des rejets)	(B. Chapdelaine, courriel, 8 mai 2018)
Nombre d'expéditions	14/an	(B. Chapdelaine, courriel, 8 mai 2018)
Quantité moyenne par expédition	≈ 7 300 kg	Calculé
Prix de vente	Confidentiel	(B. Chapdelaine, Bon de commande du 16 avril 2018, 8 mai 2018)
Ventes totales	Confidentiel	Calculé

Ces informations seront utiles pour la réalisation de la modélisation des impacts environnementaux et économiques du cycle de vie.

1.2.3 Déchets organiques

Les déchets organiques proviennent tant des matières premières qui présentent une non-conformité que des produits finis. Ils sont générés lorsqu'il n'y a pas de possibilité de refonte, de vente pour l'alimentation humaine ou d'envoi à l'alimentation animale. (J-S. Sauriol, conversation en personne, 9 mai 2018) À cet égard, le tableau 1.11 présente des exemples de raisons qui ont mené au rejet de certaines matières dans la période de juin 2017 à mai 2018.

Tableau 1.11 Exemples de raisons qui ont mené au rejet ou à la destruction de certains produits durant la période de juin 2017 à mai 2018 (J-S. Sauriol, REG-604.1 Registre destructions juin 2017 à mai 2018 (fichier Excel), 9 mai 2018)

Produit qui ne peut être refondu	Présence de moisissures
Produit mal emballé	Possibilité de contamination biologique
Produit qui présente un mauvais goût	Possibilité de contamination par un produit chimique
Produit dont l'apparence est douteuse	Contamination physique (présence d'un débris)
Demande du fournisseur (lot non conforme)	Produit tombé au sol

Les raisons sont donc multiples et variées. Or, il est possible de constater que la plupart de celles-ci mènent à un produit non conforme à l'alimentation, mais qui conserve son intégrité et pourrait ainsi être valorisé. Présentement, ces résidus sont détruits, c'est-à-dire qu'ils sont mélangés avec une solution d'eau de javel afin d'éviter les possibilités qu'ils soient revendus et consommés, puis ils sont jetés dans des conteneurs avec diverses matières jusqu'à leur récupération (J-S. Sauriol, conversation en personne, 9 mai 2018). Le tableau 1.12 présente un portrait des résidus organiques envoyés à l'enfouissement lors de la dernière année fiscale, soit de la période de juin 2017 à mai 2018.

Lorsque des produits sont détruits, un registre de destruction est rempli afin d'assurer un suivi. À partir de celui-ci, il a été possible d'extraire la liste des produits organiques jetés, de même que leur quantité respective. À cet égard, le tableau 1.13 présente les principaux produits qui ont été détruits durant la dernière année fiscale.

En consultant la liste des produits détruits, on constate qu'elle contient non seulement des matières premières et des produits finis, mais également des produits de refonte. D'ailleurs, ces derniers représentent plus de la moitié des résidus générés par cette filière dans la période à l'étude. Cela illustre la grande diversité de résidus organiques pouvant se retrouver à l'enfouissement, qui peut s'avérer problématique lors de leur valorisation. En effet, la plupart des organisations qui nécessitent un apport en matière organique désirent généralement contrôler leurs intrants et donc avoir une source relativement stable en termes de composition. En outre, pour les fins de l'analyse, seuls les résidus organiques ont été considérés. Or, ceux-ci sont en réalité mélangés avec des emballages et plusieurs autres contaminants. Ce faisant, dans une optique de valorisation de la matière organique, l'entreprise Chocolat Lamontagne devra songer à faire un tri à la source de ses résidus et possiblement procéder à un prétraitement de ceux-ci pour retirer les contaminants physiques comme les emballages et les résidus de plastique.

Tableau 1.12 Détail des résidus organiques envoyés à l'enfouissement

Éléments expédition	Détails	Source
Récupérateur	Confidentiel	(J-S. Sauriol, conversation en personne, 9 mai 2018)
Type d'entreprise	Entreprise spécialisée dans le transport des matières résiduelles	(Confidentiel)
Adresse de disposition des matières	Confidentiel	(Confidentiel)
Mode de gestion des matières	Enfouissement	(Confidentiel)
Camion transport	Camions-bennes (certains alimentés au gaz naturel comprimé [GNC])	(Confidentiel)
Conteneurs	2 x 8 vg ³	(B. Chapdelaine, conversation en personne, 16 mai 2018; D. Leclerc, conversation en personne, 22 mai 2018)
Coût de disposition des matières	Confidentiel	(C. Hamel, conversation en personne, 22 mai 2018; C. Hamel, courriel, 11 juin 2018)
Distance expédition	≈ 5 km	(Google Maps, 2018b)
Quantité matière organique	≈ 30 000 kg/an (11 % des rejets)	Calculé à partir de (J-S. Sauriol, REG-604.1 Registre destructions juin 2017 à mai 2018 (fichier Excel), 9 mai 2018).
Valeur pertes matière organique	Confidentiel	Calculé à partir de (J-S. Sauriol, REG-604.1 Registre destructions juin 2017 à mai 2018 (fichier Excel), 9 mai 2018).
Nombre d'expéditions	1 ^{er} conteneur : 5 fois/semaine; 2 ^e conteneur : 1-2 fois/semaine	(Confidentiel)
Quantité moyenne par expédition	Inconnue (certains camions n'ont pas de balances)	(Confidentiel)

Tableau 1.13 Principaux produits détruits/jetés durant la période du 1er juin 2017 au 31 mai 2018 (J-S. Sauriol, REG-604.1 Registre destructions juin 2017 à mai 2018 (fichier Excel), 4 juin 2018)

Produits	Quantités en t (% du total)
Produits de refonte non consommables	17 (54)
Mélange à bretzel Auntie Anne's (discontinué)	2 (6)
Barre sel de mer au Lait Lamontagne – Pro/Queen sans noix	1 (5)
Bouchée sel de mer Belge	1 (4)
Brioche à la cannelle – Cinnabon (discontinué)	1 (4)
Raisin Flame Sweet Dried Fruit	0,7 (2)
Sirop d'été Berthelet	0,6 (2)
Total de la refonte	30

Grâce aux fiches nutritionnelles et aux spécifications techniques de ces produits, il a ensuite été possible de calculer, de façon approximative, une composition moyenne (voir le tableau 1.14).

Tableau 1.14 Composition moyenne des résidus détruits/jetés sur une base de 100 g

Paramètres	Quantités (g)
Glucides	66
Lipides	25
Protéines	5
Eau, minéraux et vitamines	4

Comme plus de la moitié des produits détruits étaient composés de résidus non consommables de refonte, il est normal que la composition moyenne s'apparente à celle de la refonte.

1.2.4 Dons alimentaires

Dans l'optique de redonner à la communauté, Chocolat Lamontagne offre des surplus de production à des organismes caritatifs comme des banques alimentaires. Ainsi, ce sont en moyenne 2 palettes contenant de 500 à 700 kg annuellement qui sont expédiées à chacun des organismes suivants, pour un total d'environ 4,8 t (B. Chapdelaine, courriel, 27 juillet 2018) :

- Moisson Estrie : « [...] organisme socio-économique dont la mission est de contribuer au bien-être global des personnes vulnérables économiquement par l'offre directe de denrées alimentaires comme moyen d'approche [...] » (Moisson Estrie, s.d.);
- Fondation Rock Guertin : Collecte et redistribue des denrées alimentaires aux gens dans le besoin, particulièrement lors de la période des fêtes (Fondation Rock Guertin, s.d.);
- L'Armée du Salut : Réponds aux besoins essentiels des plus démunis en offrant des aliments sains, des soins de santé, l'éducation et des possibilités économiques (Armée du Salut, s.d.);
- Estrie Aide : Entreprise d'économie sociale qui œuvre dans le réemploi de biens usagés (Estrie Aide, s.d.).

1.2.5 « Écono » ou ventes en boutique

Les produits en bouchées de chocolat peuvent parfois être mal emballés en raison d'un problème technique sur la ligne d'emballage. Comme il ne serait pas efficace de les déballer manuellement, les bouchées sont mises dans des caisses de 5 kg qui sont rendues disponibles à la vente au grand public de la boutique de Chocolat Lamontagne. Annuellement, ce sont plus de 5 600 kg de résidus de chocolat qui sont valorisés de cette façon, ce qui représente 2 % des rejets. Cela se veut donc une option favorable pour écouler des produits « non conformes », tant d'un point de vue environnemental qu'économique. (C. Turgeon, courriel, 23 mai 2018) Malgré tout, les résidus valorisés par la vente en boutique seront considérés dans cette analyse.

1.2.5 Résumé

Le tableau 1.15 présente le résumé des présents modes de gestion des résidus de chocolat de l'entreprise.

Tableau 1.15 Résumé des modes de gestion actuels des résidus de chocolat de l'organisation

Éléments	Modes de gestion des résidus de chocolat					Total
	Refonte	Recyclage	Déchets	Écono	Dons	
Quantité (t/an)	140	100	30	6	5	281
Proportion (%)	50	35	11	2	2	100
Fraction de la consommation totale (%)*	3,2	2,4	0,7	0,1	0,1	6,4

*Total du chocolat consommé par l'entreprise en une année.

2. VOIES DE VALORISATION DES RÉSIDUS DE CHOCOLAT

Pour gérer les matières résiduelles, il est recommandé de suivre la hiérarchie du principe des 3RV-E. En fonction de ce dernier, différentes méthodes de gestion se présentent, qui peuvent être adaptées au type de matière, dans ce cas-ci la matière organique. Dans le cadre de ce projet, seules les options de recyclage et de valorisation seront considérées, puisque d'autres travaux sont déjà en cours pour réduire les pertes à la source, et que le réemploi ne s'applique pas dans ce cas-ci, puisqu'une bonne partie des résidus est impropre à la consommation humaine. Ce faisant, il existe plusieurs technologies disponibles sur le marché afin de mettre en valeur les matières résiduelles organiques, telles que présentées dans le tableau 2.1.

Par ailleurs, « chaque ICI possède des caractéristiques qui lui sont propres et, malheureusement, il n'existe pas de solution unique pour l'ensemble des ICI » (Recyc-Québec, 2015). De ce fait, il est recommandé de faire une analyse interne afin de déterminer l'option de valorisation la plus adaptée aux matières organiques de l'organisation.

Ainsi, une étude préliminaire réalisée en collaboration avec Synergie Estrie a permis d'identifier deux voies de valorisation possibles pour l'ensemble des résidus organiques de Chocolat Lamontagne, soit le compostage et la production de protéines d'insectes par l'élevage d'insectes, qui sera désigné par l'entomoculture pour les fins de ce travail. Celles-ci seront donc décrites en fonction de leur principe de fonctionnement, des trois principales sphères du développement durable (DD), soit les volets environnemental, économique et social, et du portrait québécois et régional. En outre, une courte présentation de la valorisation des résidus organiques par l'alimentation animale et par dons alimentaires sera réalisée, puisque ces deux voies sont présentement employées par l'entreprise et ne permettent qu'une gestion partielle des matières.

Tableau 2.1 Synthèse des technologies applicables pour la mise en valeur des matières organiques résiduelles (adapté de Olivier, 2016 et de Boutin, 2009)

Aspects	Procédés biologiques		Procédés thermiques		
Technologie	Compostage	Biométhanisation	Pyrolyse	Gazéification	Combustion
Milieu	Aérobic	Anaérobic	Anaérobic	Aérobic très limité	Aérobic en excès
Système	Ouvert ou contrôlé	Fermé	Fermé	Fermé	Ouvert ou contrôlé
Gaz produit	CO ₂ + H ₂ O	CH ₄ + H ₂ O + CO ₂	Gaz de chauffe	H ₂ + CO (Syngaz)	CO ₂ + H ₂ O
Liquide produit	Lixiviât de compost	Digestat	Huiles pyrolytiques	Aucun	Eaux d'éteignoir
Solide produit	Compost	Digestat	Charbon	Charbon Cendres	Cendres
Valeur ajoutée	Compost	CH ₄ (biogaz)	Huiles pyrolytiques	Syngaz	Possibilité de récupération de la chaleur
Avantage	Amendement de sol	Combustible stockable (produit final stable), amendement de sol	Combustible stockable	Synthèse d'alcool ou d'hydrocarbures, etc.	Production de vapeur en bouilloire
Inconvénient	Normes de compostage Procédé long Peut générer des odeurs désagréables	Normes de biométhanisation Nécessite de la chaleur externe Expertise requise (contrôle des conditions)	Produit non raffiné	Méthode coûteuse	Utilisation de proximité en temps réel

2.1 Compostage

Le compostage constitue une option de valorisation des matières résiduelles organiques qui s'avère, *a priori*, convenable pour le traitement des résidus de chocolats de l'entreprise Chocolat Lamontagne en raison de sa flexibilité, de son coût et de sa disponibilité géographique. Ainsi, cette section décrit sommairement le principe de fonctionnement du compostage, ses impacts environnementaux, l'aspect économique et social de cette technologie, ainsi le portrait québécois et sherbrookoïs.

2.1.1 Principe

Le compostage est « un processus biologique aérobie selon lequel une succession de microorganismes différents décomposent les matières organiques et les convertissent en un produit biologiquement stable [...] utilisé en tant que supplément pour le sol » (Environnement Canada, 2013). Différent des processus de décomposition observés dans la nature, le compostage s'opère en conditions contrôlées afin d'accroître la vitesse de dégradation. Il peut prendre place dans un système fermé comme un bioréacteur, ou au sein d'un système ouvert sous la forme d'andains, où on y ajuste le taux d'humidité, la porosité, la concentration en oxygène (conditions aérobies), le pH, la température et le ratio carbone-azote. Ainsi, tel que le démontre la figure 2.1, les microorganismes dégradent la matière organique en présence d'eau (H_2O) et d'oxygène (O_2) et produisent par le fait même de la chaleur, du gaz carbonique (CO_2), de l'eau et des composés odorants (Olivier, 2014). (Environnement Canada, 2013; Olivier, 2016)

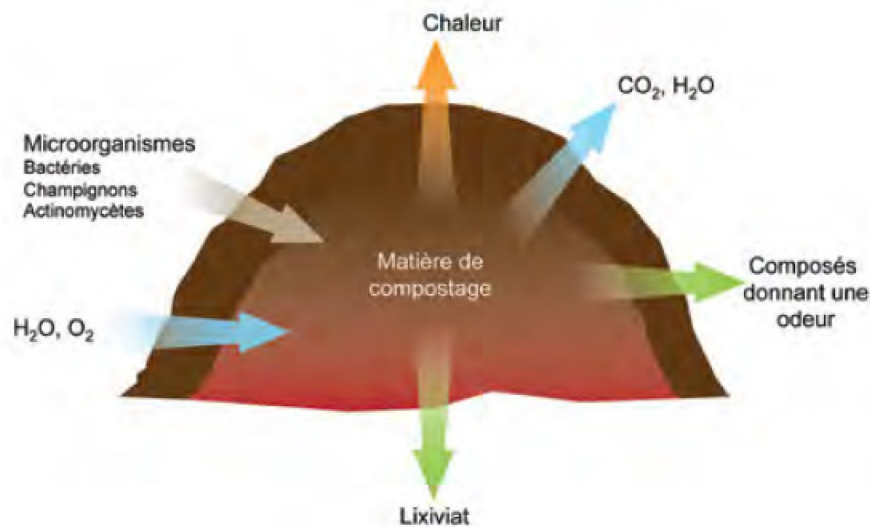


Figure 2.1 Processus de compostage (tiré de Environnement Canada, 2013)

Le compostage peut se décliner en plusieurs étapes, comme le montre la figure 2.2. D'abord, les matières sont livrées au site de compostage, puis inspectées pour en assurer la conformité. Puis, elles subissent un prétraitement qui a pour objectif d'offrir des conditions optimales pour l'action des microorganismes. Celui-

ci se caractérise par un tamisage, un broyage, l'ajout d'agents structurants, ou un mélange des matières par exemple. S'en suit l'étape du compostage actif, où les matières organiques facilement biodégradables sont décomposées. On retire ensuite les agents structurants préalablement ajoutés en vue de la maturation. Cette dernière consiste en une stabilisation de la matière organique, c'est-à-dire jusqu'à l'atteinte d'un équilibre dans le ratio C/N (Olivier, 2014). Finalement, le produit mature est raffiné pour obtenir des tailles de particules en deçà d'un certain seuil et pour retirer les débris, puis il est entreposé jusqu'à l'expédition. (Environnement Canada, 2013)

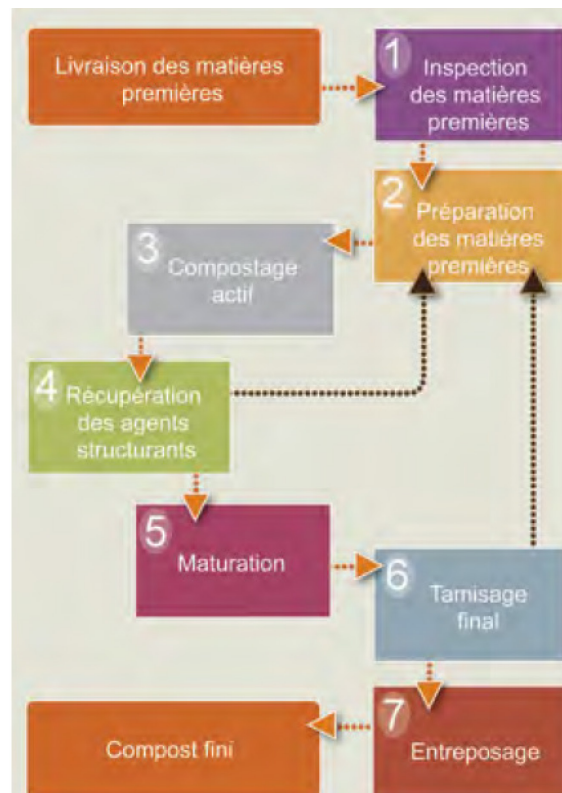


Figure 2.2 Étapes du processus de compostage (tiré de Environnement Canada, 2013)

En fonction de la qualité du compost, le grade AA, A ou B est octroyé, selon les critères définis par la Norme CAN/BNQ 0413-200 qui porte sur les Amendements organiques – Composts du Bureau de normalisation du Québec (BNQ) (BNQ, s.d.). Cela déterminera alors le prix de vente du compost, ainsi que les applications acceptables de celui-ci.

2.1.2 Impacts environnementaux

L'enfouissement des matières organiques engendre deux problématiques environnementales, soit l'acidification du milieu et la génération de biogaz. En effet, en conditions anaérobies, les microorganismes produisent des acides organiques, qui peuvent se retrouver à l'environnement par lixiviation, de même que du méthane (CH₄), un gaz à effet de serre (GES) plus puissant que le CO₂. (Taillefer, 2010)

Par la nature du compostage, la biodégradation s'effectue en présence d'oxygène et mène ainsi à la production de CO₂. Ce faisant, ce processus permet une réduction des émissions GES. En effet, à titre indicatif, on évalue que :

« Au Canada, le réacheminement d'une tonne de résidus alimentaires à des installations de compostage ou de digestion anaérobie réduit les émissions de gaz à effet de serre d'environ une tonne d'équivalents de CO₂ par rapport à l'enfouissement. » (Environnement Canada, 2013)

Un autre effet bénéfique du compostage par rapport à l'enfouissement des matières organiques réside dans le fait que le produit qui en résulte, le compost, présente plusieurs avantages intéressants. Grâce à sa teneur élevée en humus et en éléments nutritifs, il peut être utilisé comme amendement de sol. Cela permet d'en améliorer les propriétés physiques, comme sa porosité et sa capacité de rétention de l'eau, les propriétés chimiques, par l'augmentation de la teneur en éléments nutritifs et par la stabilisation du pH, et les propriétés biologiques, en stimulant l'activité microbiologique et en favorisant le développement racinaire. En outre, le compost peut être employé pour protéger le sol de l'érosion et ainsi conserver les terres végétales. (Environnement Canada, 2013; Boutin, 2009; Communauté métropolitaine de Montréal [CMM], s.d.)

Le compostage se veut donc une solution environnementale qui permet la récupération, la valorisation et le recyclage des résidus organiques dans le cycle des matières (Boutin, 2009).

2.1.3 Aspect économique

En raison du faible coût de l'enfouissement, le compostage n'est parfois pas une option qui semble favorable pour les ICI d'un point de vue purement financier (Taillefer, 2010; Boutin, 2009). Cela s'explique par le fait que le processus de digestion aérobie nécessite davantage d'étapes d'exploitation, comme les infrastructures de traitement, les communications des municipalités pour assurer la participation des citoyens et des ICI, l'éducation et la sensibilisation à l'égard du recyclage des matières organiques, etc. (Environnement Canada, 2013)

Par contre, lorsque les coûts associés au cycle de vie du compostage sont pris en considération, celui-ci est en fait plus avantageux que l'enfouissement. À cet égard, voici une liste d'avantages socio-économiques liés à l'utilisation du procédé de compostage par rapport à l'enfouissement :

- « Prolonge la durée de vie du site d'enfouissement;
 - Réduis les émissions dangereuses;
 - Offre de nouvelles occasions d'emplois directs et indirects dans le domaine de l'environnement;
 - Permet des économies de coûts en réduisant l'utilisation de combustibles fossiles et d'engrais;
 - Génère des revenus potentiels si les réductions des gaz à effet de serre sont vendues comme compensations;
 - Permet des économies de coûts d'énergie grâce au remplacement d'engrais chimiques ».
- (Environnement Canada, 2013)

Par ailleurs, pour la majorité des ICI, la récupération des matières résiduelles est généralement gérée de façon indépendante (SOLINOV, 2009). De ce fait, cela dépend du contrat que l'organisation est en mesure d'obtenir avec les récupérateurs, des coûts internes associés à la gestion des matières résiduelles organiques (tri des matières, nouveau(x) conteneur(s), etc.). En outre, il est possible d'obtenir une subvention gouvernementale dans le cadre du Programme de traitement des matières organiques par biométhanisation et compostage (PTMOBC) pour inciter le recyclage des matières organiques (Primeau, 2014). Chaque ICI doit donc analyser la situation afin de voir ce qui est le mieux adapté à ses besoins.

2.1.4 Volet social

Selon la technologie utilisée, des odeurs gênantes peuvent émaner du processus de digestion aérobie et ainsi provoquer des inconforts chez les citoyens (Taillefer, 2010; Boutin, 2009; Olivier, 2014). Cet aspect est d'ailleurs contrebalancé par le fait que les sites d'enfouissement génèrent également de fortes odeurs en lien avec la dégradation de la matière organique en absence d'oxygène (Environnement Canada, 2013). Outre cet élément, la réticence de la population à adopter de nouvelles habitudes de gestion de leurs matières résiduelles constitue le principal inconvénient du compostage sur le plan social (Lachance, 2011).

En contrepartie, le compostage permet d'améliorer la qualité de l'environnement et par le fait même les impacts sur la santé, de réduire les risques associés à l'exploitation des sites d'enfouissement, de diminuer les nuisances de ces sites en détournant de la matière organique, d'offrir des occasions d'emploi, de formation et d'enseignement (Environnement Canada, 2013). De plus, certaines municipalités distribuent gratuitement des surplus de compost à leurs citoyens afin d'améliorer l'acceptabilité sociale du processus (Lachance, 2011).

2.1.5 Portrait québécois

Pour le secteur des ICI, ce sont moins de 20 % des matières organiques produites qui ont été recyclées selon le Bilan 2015 de la gestion des matières résiduelles au Québec (Recyc-Québec, 2017). Toutefois, il faut noter que cette statistique ne prend pas en considération les résidus de l'industrie agroalimentaire, laquelle a un taux de récupération de 96 % (SOLINOV, 2013). Puis, en excluant les résidus et les boues de papetières, ce ne sont que 3 % des matières organiques produites par les ICI qui sont recyclées par compostage, alors que près de 97 % sont destinés à l'enfouissement (Taillefer, 2017). On peut donc constater que le potentiel de valorisation est élevé. D'ailleurs, pour l'atteinte des objectifs fixés par le gouvernement provincial, ce dernier tente d'aider les ICI en leur fournissant de l'information et des subventions (Fortin, Hénault-Éthier, Michaud et Vallière, s.d.). Le recyclage des matières organiques par compostage devrait ainsi augmenter dans les prochaines années.

Il existe actuellement environ 42 lieux de compostage autorisés à traiter les matières organiques des secteurs résidentiels et des ICI (Taillefer, 2015). Les technologies employées sur ces sites diffèrent en fonction du volume et de la nature des matières à traiter. (Taillefer, 2010)

2.1.6 Région de Sherbrooke

En Estrie, ce sont près de 6 300 t de matières organiques qui sont récupérées/valorisées, alors qu'il y en a près de 15 000 t qui se retrouvent à l'enfouissement, et ce, pour le secteur des ICI en 2011 (Les consultants S.M. inc., 2012). Sur le territoire de la ville de Sherbrooke, ce sont près de 3 500 t récupérées/valorisées contre un peu plus de 8 200 t éliminées (Ville de Sherbrooke, 2016). Pour atteindre les objectifs gouvernementaux, les MRC de cette région devront donc trouver des moyens de détourner davantage de matières de l'enfouissement.

À la ville de Sherbrooke, on songe à la municipalisation de la collecte des matières organiques pour les ICI, particulièrement pour les petits générateurs. Cela pourrait s'avérer une solution efficace, surtout si les coûts sont inférieurs aux options privées présentement disponibles. (Demers et Beaudoin, 2017) Ainsi, un projet pilote sera mis en place dès 2019 afin de desservir les petits ICI au niveau de la collecte des matières compostables. Le transport s'effectuera par le service actuel de collecte sélective à trois voies de la municipalité, et jusqu'à 4 bacs de 360 litres seront mis à la disposition des ICI participants. Des frais de 60 \$/t sont présentement prévus, ce qui devrait rivaliser avec les options offertes par le privé (les coûts de gestion des matières organiques peuvent différer en fonction du volume et de la qualité de celles-ci). Les matières seront acheminées au site de compostage situé à Bury. (S. Gagné Clermont et P. Charbonneau, conversation en personne, 22 juin 2018)

Dans la région de Sherbrooke, on compte deux centres de compostage. L'un est géré par la ville et on y traite principalement des feuilles mortes sur plateforme. L'autre est administré par la firme Englobe Corp. (celui situé à Bury) et on y accepte une grande variété de matières, dont les résidus de l'industrie agroalimentaire (Ville de Sherbrooke, 2016).

2.2 Entomoculture

En conséquence de l'augmentation de la population mondiale, on estime que les besoins en nourriture doubleront d'ici 2050. (Keable, 2017, 26 septembre) Pour pallier à cette problématique, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a désigné l'entomophagie, ou le fait de consommer des insectes par l'humain ou les animaux, comme une part intégrante de la solution, en raison de plusieurs facteurs tels que l'environnement, la santé et les moyens de subsistance (aspect socio-économique). (Dussault, 2017; FAO, 2014) Ce faisant, l'entomoculture, ou l'élevage d'insectes pourrait s'avérer une avenue intéressante à explorer pour la valorisation de la matière résiduelle organique, dont les résidus de chocolat. Ce type de gestion, qui est en plein essor au Québec et au Canada, est connu sous l'appellation d'entotechnologie ou d'entomotechnologie et « [...] est une approche technologique de production d'insectes, souvent appliquée pour valoriser les résidus organiques (aussi appelée surcyclage ou encore biotransformation) » (Hénault-Éthier et al., 2017).

2.2.1 Impacts environnementaux

On estime que la demande globale pour les produits issus du bétail doublera entre la période de 2000 à 2050 (FAO, 2006). Or, l'élevage d'animaux pour des fins alimentaires nécessite une quantité importante de ressources et présente ainsi des impacts environnementaux majeurs. En effet, elle est responsable de 75 % de l'utilisation des terres agricoles et de 8 % de la consommation d'eau à l'échelle mondiale (FAO, 2009; P.S. Makkar, Tran, Heuzé et Ankers, 2014). Ainsi, le secteur de la production du bétail représente 18 % de toutes les émissions de gaz à effet de serre (GES) anthropiques. (FAO, 2006)

Par rapport au bétail, les insectes ont une capacité de conversion de la biomasse bien plus efficace en raison de la nature de leur métabolisme (organismes à sang froid). De surcroît, un plus grand pourcentage de la masse des insectes est comestible par rapport aux animaux d'élevage. (van Huis, 2013) Ces éléments font donc en sorte que pour la même quantité de protéines produites, les ressources nécessaires pour l'entomoculture sont moindres, ce qui réduit par le fait même les impacts environnementaux. (P.S. Makkar, Tran, Heuzé et Ankers, 2014; Hénault-Éthier et al., 2017) La figure 2.3 illustre ces comparaisons avec le grillon.

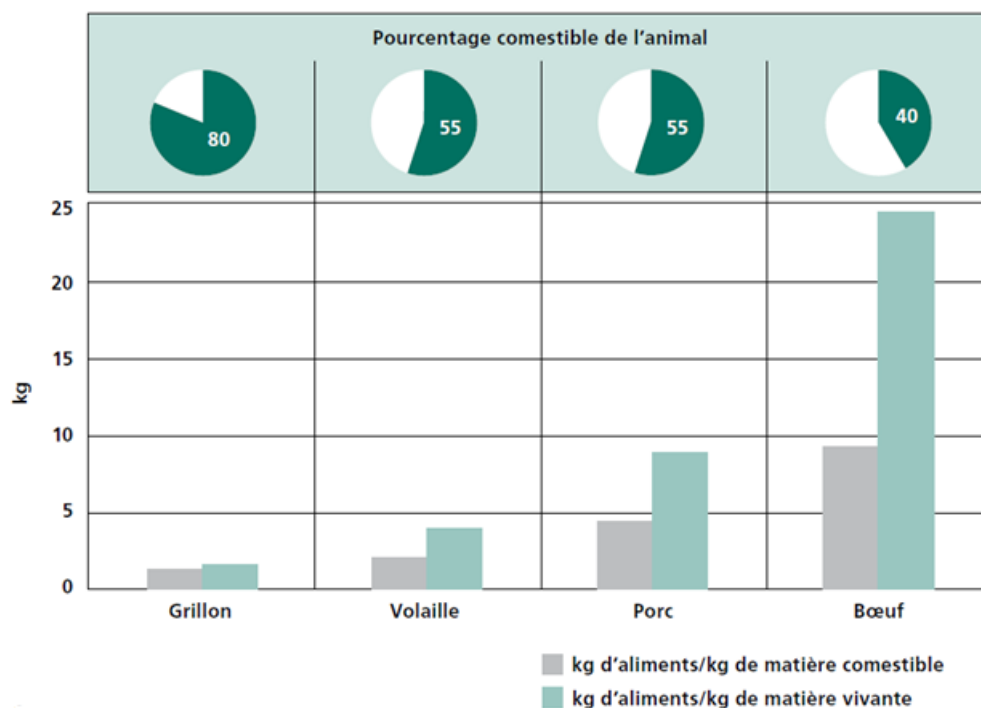


Figure 2.3 Rendements des productions comparées de viandes conventionnelles et de grillons (tiré de FAO, 2014)

Les principaux gaz à effet de serre (GES) considérés dans le secteur de l'élevage de bétail sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O) (Oonincx et al., 2010). Ceux-ci proviennent de sources différentes, comme présentés dans le tableau 2.2 (FAO, 2006).

Tableau 2.2 Contribution du secteur élevage aux émissions de GES (tiré de FAO, 2014)

	Dioxyde de carbone (CO ₂)	Méthane (CH ₄)	Protoxyde d'azote (N ₂ O)
Pourcentage par rapport aux émissions globales	9	35–40	65
Provoquées par	La production d'engrais pour les cultures fourragères, les dépenses énergétiques agricoles, le transport fourrager, la transformation des produits animaux, le transport des animaux et les changements dans l'utilisation des terres	La fermentation entérique chez les ruminants et celle du fumier des animaux de la ferme	Le fumier et les urines des animaux de la ferme

La plupart des sources de GES présentées dans le tableau précédent sont absentes en entomoculture. Par exemple, les insectes peuvent être nourris à partir de résidus alimentaires, ce qui évite la nécessité de produire un intrant, en plus de lutter contre le gaspillage alimentaire (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [anses], 2015; Smetana, Palanisamy, Mathys et Heinz, 2016). En outre, très peu d'espèces d'insectes comestibles font de la fermentation entérique, ce qui permet

de négliger la production de CH_4 (Dussault, 2017). Pour ce qui est du N_2O , certains insectes en produisent en quantité significative, sans toutefois se rapprocher des émissions occasionnées par l'élevage des porcs (Oonincx et al., 2010). Rappelons que le CH_4 présente un potentiel de réchauffement planétaire (PRP) 25 fois plus élevé que le CO_2 sur un horizon de 100 ans, alors que le N_2O a un PRP de 298, également sur un horizon de 100 ans (*Intergovernmental Panel on Climate Change* [IPCC], 2013). En plus des GES, l'élevage du bétail génère de l'ammoniac (NH_3) par la production de fumier et d'urine, ce qui cause une acidification des sols, en plus de mener à davantage d'émissions de N_2O (Oonincx et al., 2010).

Pour ces raisons, les émissions de GES et de NH_3 occasionnées par l'entomoculture sont considérablement moindres que pour l'élevage du bétail, comme l'illustre la figure 2.4.

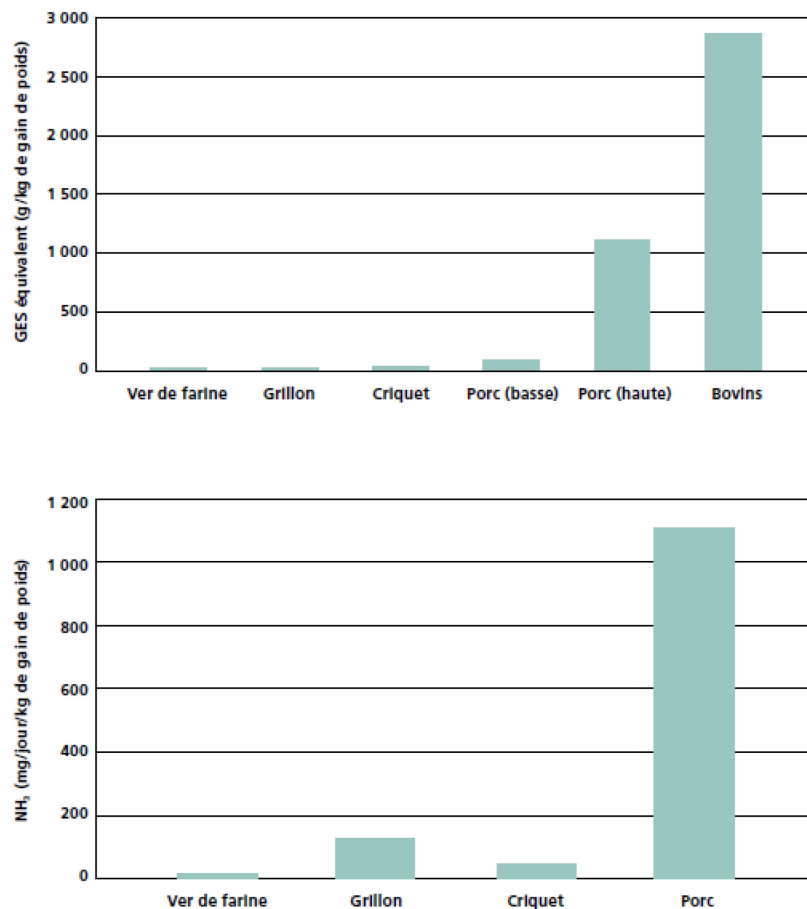


Figure 2.4 Production de GES et d'ammoniac par kg de gain de masse pour trois espèces d'insectes, les porcs et les bovins (tiré de FAO, 2014)

Quant à la consommation d'eau, peu d'études se sont concentrées sur les quantités d'eau requises pour faire l'élevage d'insectes (Dussault, 2017). Par contre, Siemianowska et al. (2013) et la FAO (2006) estiment que la plupart des insectes sont en mesure d'obtenir leur besoin en eau des aliments qu'ils ingèrent. En contraste,

l'eau virtuelle (empreinte eau) du bétail, ou la quantité d'eau requise pour produire 1 kg d'un produit sur tout son cycle de vie, est considérable : 1 kg de poulet demande 2 300 litres d'eau, 1 kg de porc demande 3 500 litres et 1 kg de bœuf 22 000 litres. (Chapagain et Hokstra, 2003) Il est donc possible de poser l'hypothèse que l'entomoculture demande une consommation moindre par rapport au bétail.

En raison de la nature du métabolisme à sang froid des insectes, une source d'énergie est souvent nécessaire à leur croissance si des rendements élevés sont visés. En outre, la formulation des produits alimentaires à base d'insectes nécessite une phase de séchage, qui est énergivore. Pour ces raisons, plusieurs analyses de cycle de vie réalisées sur la culture d'insectes révèlent d'importantes consommations énergétiques. (Salomone et al., 2017 ; Oonincx et de Boer, 2012) La figure 2.5 illustre les résultats obtenus par Oonincx et de Boer (2012).

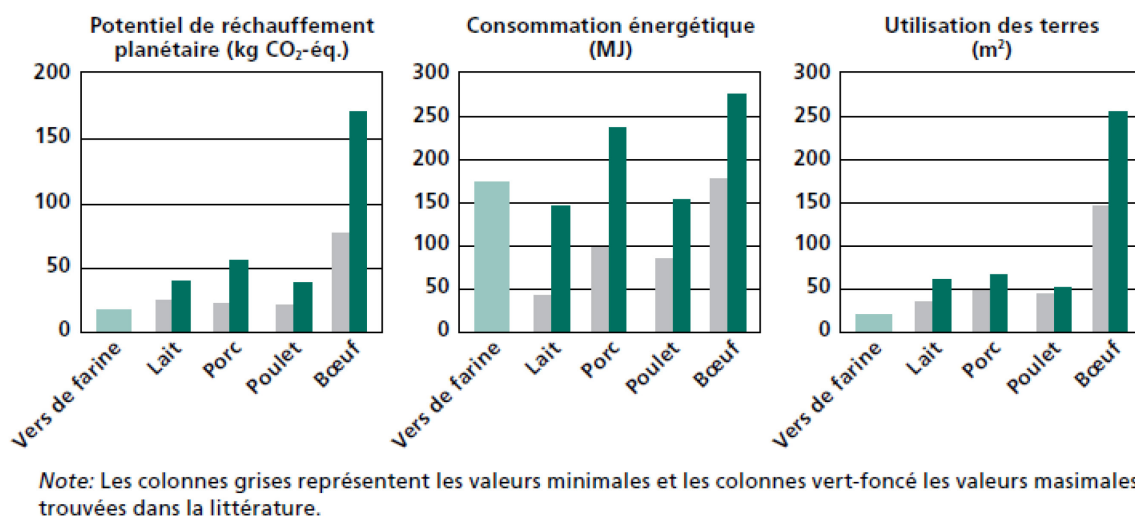


Figure 2.5 Production de gaz à effet de serre (potentiel de réchauffement planétaire), consommation énergétique et surfaces consacrées à la production d'un kg de protéines de ver de farine, de lait, de porc, de poulet et de bœuf (tiré de FAO, 2014)

Malgré tout, selon Hénault-Éthier et al. (2017), le simple fait de nourrir les insectes avec des résidus alimentaires rend la production de protéines entomologiques nettement plus durable qu'à partir de matières premières. Globalement, il est donc possible de poser l'hypothèse que les impacts environnementaux liés à l'entomoculture justifient son implantation comme remplacement aux produits issus de l'élevage du bétail.

2.2.2 Valeur nutritionnelle

La nourriture utilisée pour nourrir les animaux d'élevage doit être riche en protéines afin d'obtenir des taux de croissance les plus élevés possible. En ce moment, l'aliment le plus couramment employé est le soja, qui requiert d'importantes surfaces pour être cultivé, ce qui mène à des effets néfastes sur l'environnement et

qui s'avère être de moins en moins économique. Il est donc primordial de s'orienter vers des alternatives plus durables, telles que les insectes. (Sprangers et al., 2016)

La valeur nutritive des insectes comestibles est très variable d'une espèce à l'autre (FAO, 2014). Cela s'explique par le fait qu'il en existe une grande variété. En effet, à ce jour, ce sont plus de 1 900 espèces d'insectes comestibles qui ont été dénombrées à travers le monde. (FAO, 2013) Qui plus est, la valeur nutritive peut différer au sein d'une même espèce, puisqu'elle dépend de plusieurs facteurs tels que le stade de développement du cycle de métamorphose, l'habitat et l'alimentation (FAO, 2014). Par ailleurs, les insectes sont reconnus comme étant une source de protéine riche, durable, et qui présente un profil d'acides aminés adéquat pour l'alimentation du bétail, malgré quelques lacunes qui peuvent être comblées par la source de nourriture (Sánchez-Muros, Barraso et Manzano-Agugliaro, 2014). À titre indicatif, il a été démontré que les moulées fabriquées à partir d'insecte contiennent une teneur digestible en protéines et en lipides comparables aux moulées commerciales, en plus de présenter moins d'impacts environnementaux (Hénault-Éthier et al., 2017).

L'utilisation d'insectes en alimentation humaine semble également avantageuse d'un point de vue nutritionnel. À ce propos, on estime que cette pratique alimentaire est employée par plus de 2 milliards de personnes à travers le monde (FAO, 2013). Cela s'explique, entre autres, par le fait que les insectes comestibles contiennent des protéines, des matières grasses, des vitamines et des minéraux de haute qualité nutritive pour les humains (Rumpold et Schlüter, 2013; Makkar, Tran, Heuzé et Ankers, 2014;). De ce fait, les insectes sont reconnus comme ayant une valeur nutritive comparable à la viande et au poisson, voire même supérieure dans certains cas, ce qui en fait un aliment de choix (FAO, s.d.a; Bernard, et Womeni, 2017; Raubenheimer et Rothman, 2012)

2.2.3 Aspect économique

La firme Persistence Market Research estime que le marché mondial de l'élevage d'insectes comestibles augmentera de 424 M\$ US en 2016 à 723 M\$ US en 2024, pour une croissance de 6,1 %. Cela en fait donc une excellente opportunité de progression pour les entreprises déjà positionnées dans le secteur. Or, plusieurs éléments font en sorte que le marché des insectes comestibles tarde à se développer, particulièrement en Occident. À cet égard, le tableau 2.3 présente une analyse (non exhaustive) de type forces, faiblesses, opportunités et menaces (FFOM), qui démontre que les principaux freins peuvent être surmontés par l'implantation d'un cadre réglementaire, ainsi que par l'adaptation des consommateurs et des producteurs à ce produit relativement nouveau. (Keable, 2017, 26 septembre)

Tableau 2.3 Forces, faiblesses, possibilités et menaces entourant la consommation d'insectes
(tiré de Keable, 2017, 26 septembre)

FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> • Aliment à forte teneur en protéines et en vitamines (excellente valeur nutritionnelle). • Production générant peu de gaz à effet de serre. • Aliment exotique, nouveauté. • Valorisation de la biomasse (élevage sur déchets organiques). • Industrie s'insérant dans l'économie circulaire (symbiose industrielle). • Industrie s'inscrivant dans l'alimentation durable. • Produits à forte valeur ajoutée (par ex. : barres protéinées). 	<ul style="list-style-type: none"> • Perception négative à l'égard des insectes (dégoût). • Prix élevé (nouveau produit). • Aliment méconnu, manque d'information et d'éducation. • Faiblesse du réseau de distribution traditionnel (produits essentiellement vendus sur le Web). • Production encore artisanale, nécessité d'automatiser et de standardiser la chaîne de production. • Manque de financement. • Regroupement d'entreprises inexistant.
POSSIBILITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la population mondiale. • Diminution des ressources naturelles mondiales. • Popularité des produits écoresponsables, locaux et ethniques. • Industrie au potentiel de croissance important. • Participation au système international HACCP, pour garantir de la qualité de l'aliment. 	<ul style="list-style-type: none"> • Encadrement légal en construction et manque d'harmonisation entre les pays. • Charges administratives imposées par le « nouvel aliment » que représentent les insectes. • Manque d'information sur les espèces adaptées à nos latitudes et offrant la meilleure innocuité. • Instauration de balises concernant le bien-être animal (ex. : fournir un espace adéquat aux insectes au sein de l'élevage). • Allergies.

Pour approfondir la réflexion, le lecteur est invité à consulter l'essai de Dussault (2017) intitulé Étude de faisabilité de déploiement de l'industrie des insectes destinés à la consommation humaine au Québec, de même que le rapport de la FAO (2014) intitulé Insectes comestibles – Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale. Ce sont deux ouvrages de référence sur le sujet, qui permettront à la fois d'avoir un portrait international et local.

2.2.4 Acceptabilité sociale

Comme mentionné précédemment, plus de 2 milliards de personnes consomment des insectes pour compléter leur alimentation. Ils sont d'ailleurs vus comme un met fins dans plusieurs pays, mis à part ceux de l'Amérique du Nord et de l'Europe, où la perception de la population à l'égard des insectes est plutôt négative et associée au dégoût. (FAO, 2014) En fait, l'acceptabilité sociale de l'entomophagie semble reposer sur plusieurs facteurs, comme la sensibilité au dégoût, les croyances en lien avec les risques et les bénéfices de consommer des insectes, la propension des gens à tenter de nouvelles expériences culinaires, la tolérance aux risques d'essayer de nouveaux aliments et le genre (Jansson et Berggren, 2015). Globalement, il semble que les gens sont prêts à manger des insectes si ces derniers sont suffisamment transformés et si la présentation ou la formulation du mets ou du produit a une odeur et une apparence familière (Dicke, van Huis, Peters et van Gurp, 2014). Quant à l'utilisation d'insectes pour nourrir les animaux d'élevage, il semble que ce soit l'avenue qui présente le meilleur potentiel afin de favoriser le déploiement de l'entomophagie au Québec, puisque l'acceptabilité sociale y est la plus importante (Hénault-Éthier et al., 2017). Ce faisant, comme les effets bénéfiques de l'entomophagie ont été démontrés, la dernière étape de son essor repose sur la capacité des entreprises à faire goûter leurs produits à la population (Jansson et Berggren, 2015).

2.2.5 Portrait québécois

La consommation d'insectes n'est pas une pratique répandue au Québec (Savoie, 2014, 22 juillet). On ne retrouve en effet que très peu de produits qui en contiennent dans leur formulation (Dussault, 2017). Cela s'explique principalement par le fait que les gens les associent à un sentiment de dégoût, comme mentionné précédemment (Trudel, 2018, 26 février).

Par contre, depuis quelques années, il semble que l'ouverture de la population envers l'entomophagie soit en croissance, particulière chez les 25-44 ans (Keable, 2017, 26 septembre). Cette perception a d'ailleurs été mise de l'avant dans l'essai de Dussault (2017), qui a réalisé un sondage auprès de près de 800 personnes à ce sujet.

Par ailleurs, les gens n'ont généralement pas de problème à utiliser l'entotechnologie pour nourrir les animaux d'élevage. Ainsi, depuis la parution du rapport de la FAO (2014) sur les insectes comestibles, plusieurs entreprises œuvrant dans le secteur de la production ou de la transformation ont vu le jour au Canada et au Québec (Dussault, 2017). À cet égard, le tableau 2.4 présente une liste non exhaustive de ces entreprises.

Tableau 2.4 Entreprises canadiennes se consacrant à la production et à la transformation d'insectes comestibles au Canada en 2017 (tiré de Keable, 2017)

Compagnie	Province	Secteur	Produit phare	Destination de la production
uKa inc.	Québec	Transformation	Barre protéinée	Alimentation humaine
Näak	Québec	Transformation	Barre protéinée	Alimentation humaine
La Ferme d'insectes	Québec	Production	Ténébrions	Alimentation humaine
Virebebittes	Québec	Production	Grillons et ténébrions	Alimentation humaine
Alimentation Crickstart	Québec	Transformation	Collations	Alimentation humaine
Gourmex inc.	Québec	Importation	Aliments transformés	Alimentation humaine
Larvatria	Québec	Production	Larves et farines	Alimentation animale et engrais
Les Aliments Hexa inc.	Québec	Transformation	Biscuits pour chiens	Alimentation animale
Entomo Farms	Ontario	Production	Poudre de criquet	Alimentation humaine et animale
C-fu Foods	Ontario	Transformation	Aliments transformés	Alimentation humaine
Third Millennium Farming	Ontario	Production	Criquets	Alimentation humaine
Crik Nutrition	Manitoba	Transformation	Poudre de protéines	Alimentation humaine
Coast Protein	Colombie-Britannique	Transformation	Barre protéinée	Alimentation humaine
Enterra Feed Corporation	Colombie-Britannique	Production	Larves de mouche soldat noire	Alimentation animale et engrais

* Liste non exhaustive.

À cette liste, il est possible d'ajouter les compagnies comme Élevage Vermeil, qui produit des vers biologiques destinés à l'alimentation de canards et qui est située près de Drummondville, Insectivores, une organisation qui prévoit produire des insectes pour la consommation humaine et qui est située dans la MRC de Maskinongé, et Entosystem, une entreprise vouée à la production de larves pour l'alimentation animale qui est localisée à Sherbrooke. (Trudel, 2018, 27 février; Trudel, 2018, 26 février; Radio-Canada, 2018, 11 mars).

2.2.6 Entosystem

Dans l'optique de trouver une voie de valorisation durable pour les résidus de chocolat, l'aide de Synergie Estrie a été requise, qui est une organisation qui « vise à regrouper les entreprises de la région [de l'Estrie] dans une symbiose industrielle afin d'accroître la productivité, l'innovation et l'optimisation des

ressources » (Sherbrooke-innopole, 2018, 24 avril). Cette démarche a permis de créer un contact entre Chocolat Lamontagne et Entosystem, qui est à la recherche de matières résiduelles organiques en vue de l'expansion qu'elle effectuera dans les prochains mois (Radio-Canada, 2018, 11 mars). Ce partenariat a ainsi le potentiel de détourner une quantité importante de matière organique de l'enfouissement, en plus d'être bénéfique pour les deux parties.

Entosystem est une entreprise spécialisée dans la production de protéines entomologiques sous la forme de farine d'insectes qui est destinée à l'alimentation animale. Sa mission première est de participer à l'économie circulaire en détournant la matière organique de l'enfouissement dans la région de l'Estrie.

Pour ce faire, l'organisation mise sur la mouche soldat noire, ou *Hermetia illucens*. (Entosystem, s.d.) C'est un insecte détritivore qui est particulièrement efficace pour la bioconversion des déchets organiques et qui se nourrit d'une vaste gamme de substrats organiques (FAO, 2013; Cabrera, Hénault-Éthier, Lefebvre et Tchuam-Tchouwo, 2015). D'ailleurs, selon la FAO (2014), cette espèce se veut le meilleur candidat pour nourrir le bétail en raison de ses propriétés nutritionnelles.

Le procédé de production de la farine d'insectes d'Entosystem débute par la croissance des mouches jusqu'au stade de reproduction. Les œufs sont ensuite récoltés et les larves qui en résultent sont placées dans des bacs avec la matière organique. Cette dernière peut subir un prétraitement si nécessaire afin qu'elle soit plus facilement assimilable par les larves. Celles-ci sont ensuite séchées, puis broyées pour obtenir la farine. Quant à la matière organique résiduelle, elle peut servir à la fertilisation des sols. (C. Provost, 1^{er} juin 2018) La figure 2.8 présente un schéma de différents scénarios de production de farine d'insecte pour l'alimentation animale.

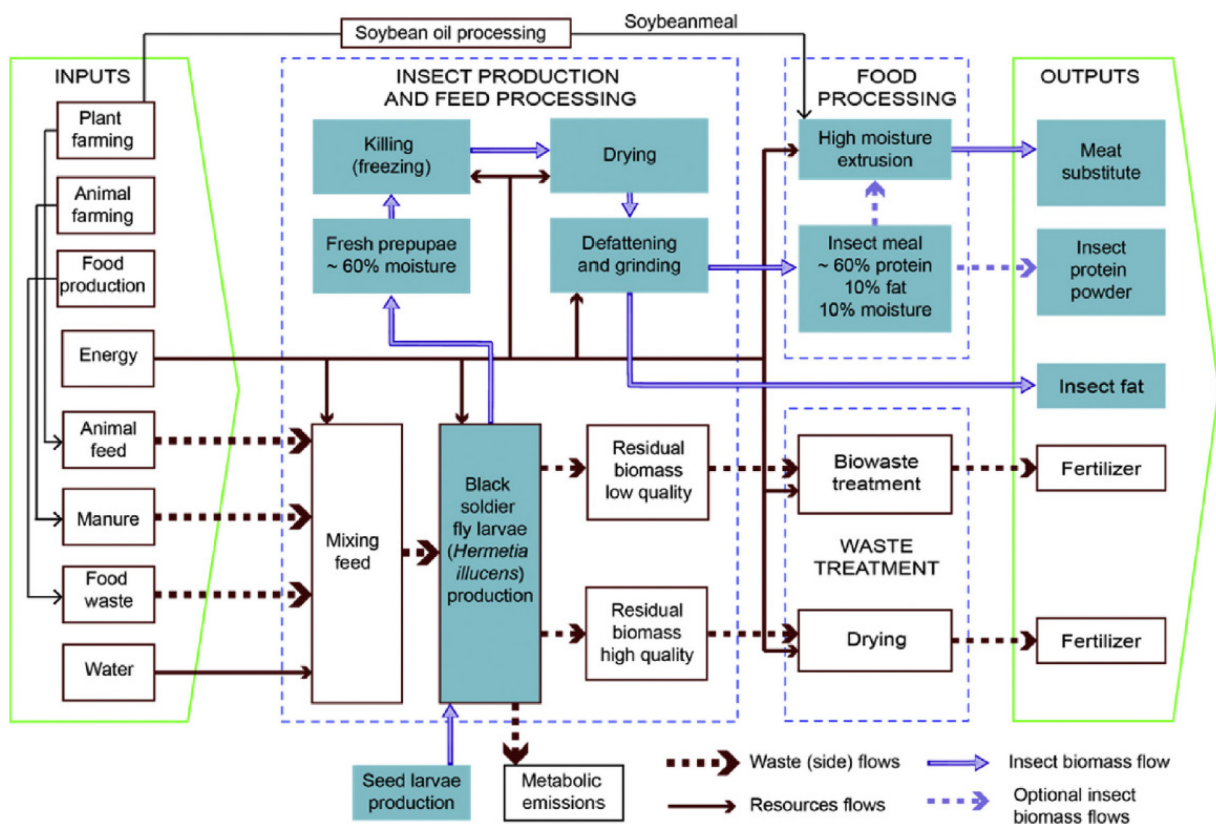


Figure 2.8 Schéma de différents scénarios de production de *Hermetia illucens* (tiré de Smetana, Palanisamy, Mathys et Heinz, 2016)

Comme mentionné précédemment, la mouche soldat noire peut se nourrir de plusieurs substrats différents, sans pour autant nuire à sa valeur nutritive. En outre, même les aliments relativement pauvres en protéines peuvent mener à de bons résultats. (Wang et Shelomi, 2017) Ce faisant, malgré le fait que les produits chocolatés ne soient pas particulièrement riches en protéines, ils pourraient s'avérer une matière de choix pour alimenter les larves compte tenu de la haute teneur en glucides et en lipides de ces aliments. Par ailleurs, il semble qu'aucune étude n'ait recensé l'utilisation de chocolat pour nourrir les larves d'*Hermetia illucens*. Des essais en laboratoire devront ainsi être effectués afin de valider cette hypothèse.

2.3 Alimentation animale

Le secteur de l'alimentation animale comprend tous les animaux d'élevage qui sont destinés à la consommation humaine. Cela inclut donc les animaux monogastriques, soit la volaille et les suidés (ex. : cochons et porcs), de même que les ruminants, c'est-à-dire les bovins, les moutons et les chèvres par exemple. (FAO, 2006) Tous les aliments qui peuvent être envoyés à cette filière et les exigences à respecter sont conscris dans la Loi relative aux aliments du bétail, qui est administrée par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) (ACIA, 2017).

Depuis quelques années, le secteur de l'élevage a connu un essor sans précédent, particulièrement dans les pays à forte croissance économique, dont la population demande de plus en plus de produits alimentaires d'origine animale. Selon la FAO (s.d.b), « le secteur de l'élevage représente environ 40 % de la valeur mondiale de la production agricole ». Il contribue également à la réduction de la pauvreté ainsi qu'à la sécurité alimentaire de près de 1,3 milliard d'individus à travers le monde. (FAO, s.d.b)

D'ailleurs, on estime que la production de viande devrait doubler entre la période de 1999 et 2050, pour atteindre environ 465 millions de tonnes (FAO, 2006). Par le fait même, les besoins en nourriture pour le bétail augmenteront de façon significative. En outre, l'alimentation animale figure parmi les voies de valorisation de la matière organique les moins dispendieuses (Boutin, 2009). C'est pourquoi cette voie de valorisation est une avenue à envisager pour les entreprises du secteur agroalimentaire qui génèrent des résidus comestibles.

Au Québec, « [...] la majorité des entreprises valorisent leurs résidus organiques par épandage direct au sol, par l'alimentation animale ou par compostage » (Taillefer, 2010). D'ailleurs, selon une enquête réalisée par la firme SOLINOV inc. en 2013, environ 72 % des résidus organiques de l'industrie agroalimentaire québécoise étaient valorisés dans la filière de l'alimentation animale et de l'équarrissage pour l'année 2011, ce qui représente plus de 900 000 tonnes de matières. En outre, en raison du prix élevé du tourteau de soja, principale nourriture des animaux d'élevage, le détournement des résidus alimentaires vers l'alimentation animale a connu un essor important en 2012. Cela s'ajoute au fait que les industries recherchent de plus en plus de nouvelles façons de valoriser leurs résidus organiques en raison de la hausse des coûts liés à l'enfouissement, et que l'alimentation animale constitue une avenue peu dispendieuse (Boutin, 2009). (SOLINOV, 2013)

2.4 Dons alimentaires

Pour les résidus alimentaires, le second « R » des 3RV-E, soit le réemploi, peut se traduire par une utilisation pour l'alimentation humaine, via les dons alimentaires (Ménard, 2013). Dans le même ordre d'idées, la United States Environmental Protection Agency (EPA) a dressé une hiérarchie y étant adaptée, illustrée à la figure 2.9.



Figure 2.9 Hiérarchie de récupération des résidus alimentaires de l'EPA (EPA, s.d.)

Cette hiérarchie est à privilégier afin de lutter contre l'insécurité alimentaire, qui se définit par un accès restreint ou inadéquat à des aliments sains et nutritifs qui empêche les individus à combler leurs besoins.

Au Canada, l'insécurité alimentaire touche 12,0 % de la population, ce qui représente environ 3,2 millions de personnes, dont 1 million d'enfants de moins de 18 ans. (Tarasuk, Mitchell et Dachner, 2014) Quant au Québec, ce sont 400 000 individus qui ont eu recours à l'aide offerte par Les Banques alimentaires du Québec (BAQ) en 2017, dont 150 000 enfants. De ce fait, l'aide alimentaire au Québec a fait en sorte de gérer quelque 2,5 millions de kg de nourriture propre à la consommation en 2016. (BAQ, 2017)

En Estrie, les denrées alimentaires sont principalement acheminées à Moisson Estrie, qui vient en aide à environ 1 500 personnes par mois, dont 40 % d'enfants (Moisson Estrie, s.d.a). Récemment, l'organisme a dû déménager dans de plus gros locaux afin de mieux répondre à la demande et pour améliorer ses infrastructures (Radio-Canada, 2016, 2 octobre).

Ainsi, gérer les résidus organiques comestibles par les dons alimentaires se veut une solution favorable d'un point de vue environnemental et qui répond à une problématique sociale criante. Les entreprises qui génèrent des produits alimentaires toujours propres à la consommation ont donc tout intérêt à utiliser la hiérarchie de l'EPA, d'autant plus que le Code civil du Québec prévoit une réglementation qui limite la responsabilité des donateurs de denrées alimentaires lorsque le but est louable (Ménard, 2013).

3. ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU CYCLE DE VIE

L'analyse du cycle de vie (ACV) est un outil permettant le calcul des impacts du cycle de vie d'un produit, d'un procédé ou d'un service. Dans le cadre de cet essai, l'ACV sera utilisée pour comparer les impacts environnementaux de deux procédés de traitement des résidus organiques en comparaison avec la situation actuelle de Chocolat Lamontagne.

Ainsi, ce chapitre fera d'abord une description de l'outil qu'est l'ACV. Puis, la méthodologie sera décrite en suivant les exigences des normes ISO, suivi de l'inventaire du cycle de vie (ICV) des différents scénarios utile à la réalisation de la modélisation. Les résultats seront ensuite présentés, de même qu'une analyse de ceux-ci.

3.1 Outil d'ACV

L'ACV est un outil dont les exigences méthodologiques sont conscrites dans des normes ISO. Pour calculer les impacts environnementaux du cycle de vie, l'aide d'un logiciel spécialisé a été requise, lequel se base sur une banque de données d'ACV. Ce faisant, cette section décrit sommairement ce qu'est l'ACV, le logiciel utilisé pour modéliser les impacts, ainsi que la base de données exploitée.

3.1.1 Description de l'ACV

Les premières analyses du cycle de vie, aussi appelées écobilans, ont été réalisées dans les années 60 aux États-Unis afin de suivre la consommation des matières premières et de l'énergie en industrie. Dès lors, de plus en plus d'éléments ont été inclus à ces études, comme les émissions de contaminants/polluants et leurs impacts environnementaux (Université Virtuelle Environnement et Développement Durable [UVED], s. d.c)

Dans le contexte actuel où l'aspect environnemental est de plus en plus considéré, l'ACV se veut un outil d'aide à la décision qui permet, entre autres, de prioriser les actions à prendre afin de minimiser l'impact environnemental du cycle de vie d'un produit, d'un service ou d'un système en relation à une fonction particulière (Jolliet, Saadé, Crettaz et Shaked, 2010). La figure 3.1 présente une visualisation des étapes du cycle de vie.

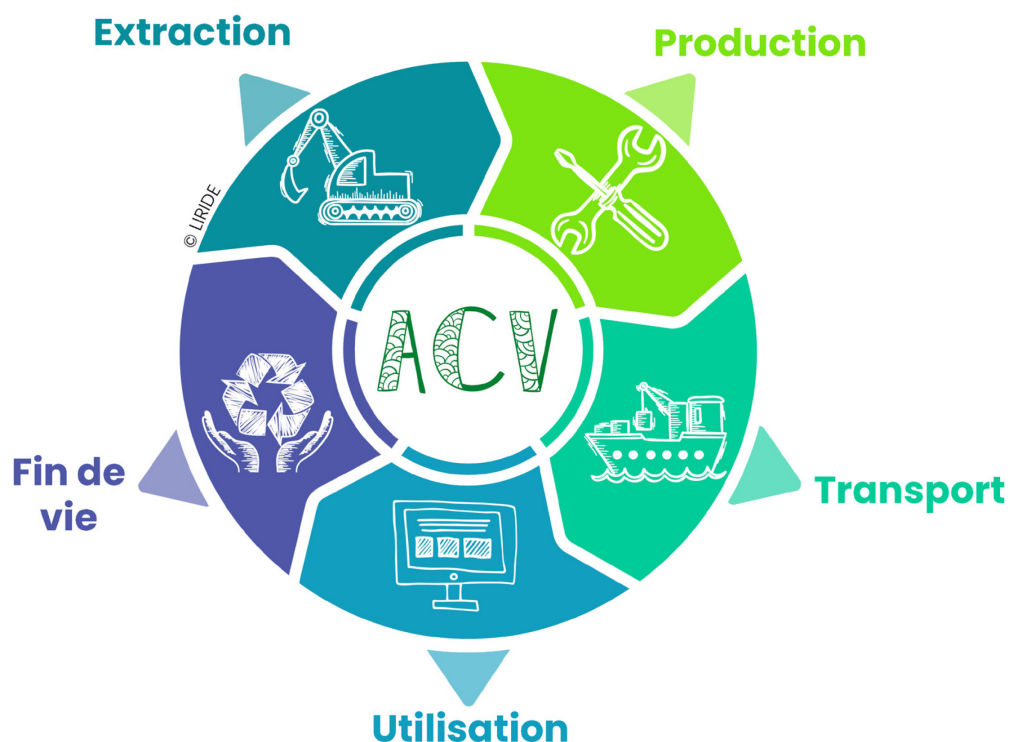


Figure 3.1 Schéma du cycle de vie (fourni par le Laboratoire interdisciplinaire de recherche en ingénierie durable et écoconception [LIRIDE])

À la suite des premières publications d'ACV, plusieurs questionnements ont été soulevés quant à la validité des résultats et des hypothèses proposées (UVED, s. d.c). Ainsi, pour en assurer une rigueur méthodologique, la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) et l'Organisation internationale de normalisation (ISO) ont créé un cadre normatif qui est regroupé dans le cycle des normes ISO 14 000 (UVED, s. d.a). De façon plus précise, le cœur de la marche à suivre pour la réalisation d'une ACV est compilé dans la norme ISO 14040 :2006, Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principes et cadre, et dans la norme ISO 14044 :2006, Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Exigences et lignes directrices (ISO, 2006b; ISO, 2006a).

Selon ces normes, l'ACV s'effectue en quatre phases, qui sont décrites dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1 Description des quatre phases de l'analyse du cycle de vie (Jolliet et al., 2010; Cloutier, 2015; UVED, s. d.b; Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie [ADEME], 2014; Goedkoop, Oele, Leijting, Ponsioen et Meijer, 2016; ISO, 2006a; ISO, 2006b)

Phases de l'ACV	Description
1) Définition des objectifs et du système	Permet de définir les éléments suivants : <ul style="list-style-type: none"> - La problématique; - Les objectifs et le champ de l'étude; - La fonction et les limites du système; - L'unité fonctionnelle (permet de rapporter les émissions et les extractions des produits ou des services sur une base comparative); - Les scénarios de base; - La méthodologie d'évaluation des impacts; - Les hypothèses et les limitations; - Les règles d'allocations; - Etc.
2) Inventaire des émissions et des extractions	L'inventaire du cycle de vie (ICV) quantifie les intrants, incluant les matières premières et l'utilisation des sols, ainsi que les extrants, tels que les émissions polluantes dans l'air, l'eau et le sol, qui sont pertinents pour le système de produits défini.
3) Analyse de l'impact environnemental	Fais l'évaluation de l'impact environnemental des émissions et des extractions répertoriées dans l'inventaire. Pour ce faire, on associe les données de l'ICV à des catégories de problèmes, qui sont au nombre de 13, puis les émissions sont pondérées. Les catégories de problèmes peuvent également être regroupées dans des catégories de dommages, qui sont au nombre de 4. Puis, pour faciliter l'interprétation des résultats, une étape supplémentaire de normalisation peut être effectuée, qui consiste en la mise en évidence de la contribution du produit étudié sur une catégorie d'impacts par rapport à un élément de référence.
4) Interprétation	Cette phase permet l'interprétation des résultats en fonction des hypothèses effectuées, des incertitudes et des études de sensibilité. Les points chauds (<i>hotspot</i>) sont ainsi identifiés, ce qui permet d'émettre des recommandations de façon critique.

3.1.2 Logiciel d'ACV

L'outil d'analyse du cycle de vie employé pour ce travail est le logiciel SimaPro, qui est le plus utilisé à travers le monde depuis 25 ans. Il aide ainsi les preneurs de décision dans plus de 80 pays. (SimaPro, s.d. b) SimaPro peut servir à plusieurs applications, comme pour l'écoconception d'un produit, pour générer des déclarations environnementales de produits, pour la détermination d'une empreinte carbone ou aquatique, etc. Tout cela s'effectue par l'entremise d'une modélisation informatique, dont les entrées des utilisateurs proviennent principalement de banques de données d'ACV. (SimaPro, s.d.a) Ses principales caractéristiques qui le distinguent des autres logiciels d'ACV résident dans le design environnemental de produits, l'analyse environnementale détaillée, la propagation des incertitudes (Monte Carlo) et par la combinaison d'une approche par processus et par entrées/sorties (*input/output*). En outre, SimaPro prend en charge plusieurs bases de données, dont *ecoinvent*. (Jolliet et al., 2010).

3.1.3 Base de données d'ACV

La base de données utilisée pour la réalisation de cette ACV est la version 3.4 d'*ecoinvent*, qui est parmi les plus complètes et les plus transparentes sur le marché (Ecoinvent, s.d.). Elle est le fruit d'une collaboration entre plusieurs institutions suisses qui a permis de créer une base de données contenant plus de 10 000 processus distribués entre divers secteurs, comme l'agriculture, le transport, l'énergie, le plastique, etc. (Goedkoop, Oele, Leijting, Ponsioen et Meijer, 2016) C'est pourquoi elle est communément utilisée et reconnue internationalement par la communauté scientifique.

À titre indicatif, un processus regroupe l'ensemble des activités du cycle de vie d'un élément donné qui, par conséquent, permet d'obtenir les impacts environnementaux qui lui sont attribuables. Un processus peut également englober plusieurs autres processus. Par exemple, la banque de données contient un processus générique sur le compostage au Québec. Dans ce cas-ci, l'utilisateur n'a qu'à entrer la quantité de matière organique à composter pour que les impacts du cycle de vie entier soient calculés.

3.2 Définition des objectifs et du champ de l'étude

Les normes ISO 14040 et 14044 exigent un certain cadre méthodologique pour la réalisation d'ACV. À cet égard, le tableau 3.2 présente une définition des objectifs et du champ de l'étude selon les exigences générales de ces normes.

Tableau 3.2 Définition des objectifs et du champ de l'étude selon les exigences des normes ISO 14040 et 14044 (Inspiré de Quantis et Groupe AGÉCO, 2012)

Exigences selon ISO 14040/14044	Description
Application envisagée : ISO 14040 : 5.2.1.1; 14044 : 4.2.2	Cette étude a comme objectif primaire de bénéficier à l'entreprise Chocolat Lamontagne et aura donc une utilisation interne.
Raisons conduisant à réaliser l'étude : ISO 14040 : 5.2.1.1; 14044 : 4.2.2	Dans le cadre de cet essai de maîtrise, l'ACV a pour objectif d'évaluer l'impact environnemental de différentes voies de valorisation des résidus de chocolat de l'entreprise Chocolat Lamontagne. Ces résidus représentent des pertes financières importantes, en plus d'avoir des conséquences néfastes sur l'environnement. Il se veut donc un outil de prise de décision pour les gestionnaires de l'organisation lors de l'analyse des opportunités qui s'offrent à eux en termes de gestion des matières résiduelles organiques.
Public concerné : ISO 14040 : 5.2.1.1; 14044 : 4.2.2	Par la nature de l'essai de la maîtrise en gestion de l'environnement de l'Université de Sherbrooke, certains résultats pourraient être rendus publics. Ce faisant, malgré une applicabilité restreinte, les entreprises qui présentent une problématique de gestion des matières résiduelles organiques pourraient également s'inspirer de la méthodologie employée et des informations contenues dans l'analyse.

Tableau 3.2 Définition des objectifs et du champ de l'étude selon les exigences des normes ISO 14040 et 14044 (suite)

Exigences selon ISO 14040/14044	Description
Système de produit à l'étude : ISO 14040 : 5.2.1.2; 14044 : 4.2.3.1	Les méthodes de valorisation de la matière organique décrites dans le chapitre 2 de cet essai, soit l'entomoculture, le compostage, l'alimentation animale et les dons alimentaires. Dans le cadre de cette étude, la matière organique à valoriser représente les résidus de chocolat générés par l'entreprise Chocolat Lamontagne, tels que définis à la section 1.2 de cet essai.
Fonctions du système de produits : ISO 14040 : 5.2.1.2; 14044 : 4.2.3.1	Traitement ou valorisation des résidus organiques produits par l'entreprise Chocolat Lamontagne, qui s'élèvent à environ 275 tonnes annuellement.
Unité fonctionnelle (UF) : ISO 14040 : 5.2.1.2; 14040 : 5.2.2; 14044 : 4.2.3.1; 14044 : 4.2.3.2	Traiter/valoriser une tonne de résidus organiques
Frontière du système : ISO 14040 : 5.2.1.2; 14040 : 5.2.3; 14044 : 4.2.3.1; 14044 : 4.2.3.3.1	Les frontières du système prennent en compte l'ensemble de la chaîne de traitement/valorisation des résidus organiques pour chacune des filières considérées. Cela inclut donc : <ul style="list-style-type: none"> • Extraction, transport et utilisation des matières premières; • Les infrastructures, incluant l'occupation du sol, l'utilisation et la fin de vie de matériaux de construction, mais excluant l'énergie liée à la construction et au démantèlement des installations; • Le traitement/valorisation des résidus organiques et des sous-produits/déchets générés; • Les pertes de matières dans chacun des processus; • La chaîne d'approvisionnement énergétique; • Extension des frontières du système pour prendre en considération les fonctions secondaires : utilisation du compost, utilisation de la farine d'insecte et de la matière organique partiellement décomposée, etc.
Étapes du cycle de vie incluses	Ensemble du cycle de vie (du berceau au tombeau) : Extraction, préproduction, production/transformation, utilisation et fin de vie.
Description des processus élémentaires : ISO 14040 : 5.2.1.2; 14040 : 5.3.4; 14044 : 4.2.3.1	Une présentation schématisée des différents scénarios est illustrée à la figure 3.2. Scénario 0 (scénario de référence) : <ul style="list-style-type: none"> • Refonte (140 t) : Ce procédé consiste en un apport énergétique au chocolat jusqu'à sa fonte, puis à son pompage. La refonte permet donc d'éviter tous les processus impliqués dans la production du chocolat, jusqu'à son transport à l'usine de Chocolat Lamontagne; • Alimentation animale (100 t) : Le chocolat est acheminé à l'usine de transformation des aliments où il est mélangé à différents intrants pour la fabrication de moulée destinée à l'alimentation porcine. Le détail du procédé exact est inconnu en raison des règles de confidentialité de l'entreprise. Pour ce sous-scénario, l'hypothèse que le chocolat remplace l'apport en sucre normalement inclus dans la moulée est posée;

Tableau 3.2 Définition des objectifs et du champ de l'étude selon les exigences des normes ISO 14040 et 14044 (suite)

Exigences selon ISO 14040/14044	Description
Description des processus élémentaires : ISO 14040 : 5.2.1.2; 14040 : 5.3.4; 14044 : 4.2.3.1	<ul style="list-style-type: none"> • Enfouissement (30 t): Les résidus organiques sont récupérés par l'entreprise de transport des matières résiduelles où ils sont acheminés à leur centre de transbordement. Suite à un tri à la pelle, les matières sont transportées à un lieu d'enfouissement technique (LET) où elles sont enfouies; • Dons alimentaires (5 t): Le chocolat est transporté à 4 organismes, soit Moisson Estrie, Estrie-Aide, la Fondation Rock Guertin et l'Armée du Salut, où il est entreposé jusqu'à son expédition. <p>Scénario 1 (compostage):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les résidus organiques sont récupérés à l'usine de Chocolat Lamontagne, puis transportés au centre de compostage de Bury. Les matières y sont réduites en compost par un procédé de compostage en andains. Le compost qui en résulte peut alors remplacer des fertilisants chimiques. <p>Scénario 2 (entomoculture) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les résidus organiques sont envoyés à l'usine de transformation d'insectes Entosystem où ils sont préparés, puis donnés en nourriture aux larves de mouches. Les larves sont ensuite bouillies, séchées puis réduites en poudre pour une utilisation dans la fabrication de moulée animale. Cela remplace donc la nourriture qui compose normalement cette moulée, alors que les matières organiques résiduelles peuvent remplacer des fertilisants chimiques.
Règles d'imputation : ISO 14040 : 5.2.1.2; 14040 : 5.3.4; 14044 : 4.2.3.1	L'inventaire se calcule comme la somme des émissions et des extractions liées aux processus, tant indirectes que directes. L'évaluation des émissions et des extractions des coproduits sont effectuées par extension des frontières du système, c'est-à-dire que le coproduit substitue un produit similaire fabriqué par d'autres processus. Les émissions et les extractions liées au produit substitué étant évitées, elles sont soustraites de celles produites à l'intérieur des frontières du système.
Critères de coupures : ISO 14044 : 4.2.3.3.3	Tout processus qui contribue à un pourcentage seuil de moins de 1 % aux impacts environnementaux totaux pour toute catégorie d'impact peut être exclu.
Catégories d'impacts et méthodologie d'évaluation de l'impact : ISO 14040 : 5.2.1.2; 14044 : 4.2.3.1; 14044 : 4.2.3.4	<p>Méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie IMPACT 2002+.</p> <p>Niveau d'évaluation : Intermédiaire et dommages. Normalisation des dommages et pondération au choix.</p> <p>Prends en considération les catégories d'impact intermédiaires (<i>midpoint</i>) suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Changement climatique; • Destruction d'ozone stratosphérique; • Santé humaine; • Radiations ionisantes; • Accidents; • Formation de photo-oxydants;

Tableau 3.2 Définition des objectifs et du champ de l'étude selon les exigences des normes ISO 14040 et 14044 (suite)

Exigences selon ISO 14040/14044	Description
Catégories d'impacts et méthodologie d'évaluation de l'impact : ISO 14040 : 5.2.1.2; 14044 : 4.2.3.1; 14044 : 4.2.3.4	<ul style="list-style-type: none"> • Acidification; • Eutrophisation aquatique; • Écotoxicité; • Utilisation des sols et perte d'habitat; • Extraction d'énergie; • Extraction de minerais; • Utilisation de ressources en eau. Ainsi que les catégories de dommages (<i>endpoint</i>) suivantes : <ul style="list-style-type: none"> • Santé humaine; • Environnement naturel biotique (qualité des écosystèmes); • Environnement naturel abiotique (changement climatique); • Ressources naturelles abiotiques.
Unités :	Système international d'unités (SI)
Interprétation à utiliser : ISO 14040 : 5.2.1.2; 14044 : 4.2.3.1	Analyse de contribution des étapes du cycle de vie sur les impacts environnementaux potentiels en concordance avec les objectifs et le champ de l'étude.
Types et sources de données : ISO 14044 : 4.2.3.5	Voir le tableau à l'annexe 2
Exigences de qualité des données : ISO 14040 : 5.2.1.2; 14044 : 4.2.3.1; 14044 : 4.2.3.6.2	Les normes ISO exigent que les données proviennent de sources de qualité. Or, dans le cadre de cet essai, le manque de temps ne permet pas de récolter l'ensemble des données primaires nécessaires à la réalisation d'une ACV pleinement représentative. Ce faisant, plusieurs hypothèses et approximations ont été posées et des processus génériques de la base de données <i>ecoinvent</i> ont été privilégiés. Ce travail permet donc d'obtenir une comparaison entre les scénarios à l'étude, mais avec plusieurs limitations.
Représentativité temporelle	Le tonnage des résidus organiques générés par Chocolat Lamontagne se base sur l'année 2017, qui se veut l'année de référence. Les données relatives aux différentes filières de traitement/valorisation de la matière organique proviennent de l'année en cours ou de projections de ce que seront les nouveaux procédés dans un horizon de 1 à 2 ans.
Représentativité géographique	Projet réalisé sur le territoire du Québec. Le contexte énergétique québécois sera donc considéré.
Représentativité technologique	Pour chacune des filières, la représentativité technologique sera conservée dans la mesure du possible, basée sur les informations transmises par les organisations concernées, le cas échéant : <ul style="list-style-type: none"> • Compostage : Ville de Sherbrooke et Englobe inc.; • Entomoculture : Entosystem; • Refonte : Chocolat Lamontagne; • Alimentation animale : Confidentiel; • Enfouissement : Confidentiel; • Dons alimentaires : Moisson Estrie, Fondation Rock Guertin, Estrie-Aide, L'Armée du Salut.

3.2.1 Hypothèses

En raison de contraintes temporelles, plusieurs hypothèses ont été posées afin de simplifier l'analyse. Tout d'abord, les données primaires utilisées pour la caractérisation des résidus organiques générés par Chocolat Lamontagne proviennent principalement de l'année 2017. Cette dernière constitue donc le scénario 0, c'est-à-dire le scénario de référence. Les impacts ont donc été imputés en fonction d'une gestion de 275 t de résidus organiques, dont 140 t par refonte, 100 t par la fabrication de moulée pour l'alimentation porcine, 30 t destinées à l'enfouissement et 5 t par dons alimentaires. Quant au scénario 1, on fait l'hypothèse que la totalité des matières résiduelles organiques est traitée par compostage au centre de Bury. De façon similaire, la totalité des résidus est considérée comme étant gérée par le procédé de fabrication de farine d'insecte de l'entreprise Entosystem pour le scénario 2. En outre, on réfère toujours à un chocolat moyen, comme défini dans le chapitre 1. Plus précisément, le tableau 3.3 présente les hypothèses mises de l'avant pour la réalisation de l'ACV par scénario.

Tableau 3.3 Liste des hypothèses posées par scénario

Scénarios	Hypothèses
0 : Référence (275 t)	
Refonte (140 t)	<ul style="list-style-type: none"> - Le temps d'utilisation des équipements est de 2 h/t de chocolat (G.-P. Langelier, courriel, 21 août 2018); - La superficie occupée par la salle de refonte est le 30^e de l'usine; - La construction de l'usine de Chocolat Lamontagne a eu des impacts similaires à ceux occasionnés par la fabrication d'une usine générique de fabrication de sucre; - La refonte permet d'éviter la fabrication du chocolat, de l'extraction et la production des matières premières, jusqu'à son transport à l'usine de Chocolat Lamontagne; - Le chocolat évité présente des impacts similaires à ceux décrits dans Recanati, Marveggio et Dotelli (2018); - 25 % du chocolat provient de l'usine de fabrication Barry Callebaut à Saint-Hyacinthe, alors que la balance provient de l'usine de Nutriart à Québec.
Alimentation animale (100 t)	<ul style="list-style-type: none"> - Le procédé de fabrication de moulée animale considéré a des impacts analogues à un procédé générique des Pays-Bas de fabrication de nourriture pour les porcs; - La construction de l'usine de considérée a eu des impacts similaires à ceux occasionnés par la fabrication d'une usine générique de fabrication de sucre; - Les impacts liés au mélange des ingrédients pour la production de 1 t de moulée porcine sont considérés comme équivalent à la prise en charge de 1 t de résidus organiques; - On suppose que le chocolat remplace le sucre ajouté dans la formulation de la moulée.
Enfouissement (30 t)	<ul style="list-style-type: none"> - L'impact de l'enfouissement de 1 tonne de chocolat est équivalent à l'enfouissement de 1 tonne de déchets générés par un québécois moyen;

Tableau 3.3 Liste des hypothèses posées par scénario (suite)

Scénarios	Hypothèses
Enfouissement (30 t)	<ul style="list-style-type: none"> - Les résidus organiques sont envoyés au centre de transbordement du transporteur où ils subissent un tri grossier à la pelle, avant d’être acheminés à un lieu d’enfouissement technique (LET) qui est à une distance d’environ 70 km; - Les impacts liés à la construction du lieu d’enfouissement technique sont équivalents à ceux d’un lieu d’enfouissement sanitaire (LES) générique.
Dons alimentaires (5 t)	<ul style="list-style-type: none"> - On estime que la même quantité de chocolat est envoyée à chacun des organismes; - Le chocolat remplace un aliment sucré que le consommateur aurait pu acheter. Ainsi, en fonction des processus disponibles dans la banque de données, le chocolat remplace du sucre de betterave et de canne; - L’entreposage de 1 tonne de chocolat nécessite un espace de 2 m².
1 : Compostage (275 t)	<ul style="list-style-type: none"> - Le compostage de 1 tonne de résidus organiques générés par Chocolat Lamontagne permet d’éviter la production de 100 kg de fertilisant chimique azoté (basé sur le taux de conversion utilisé dans Salomone et al., 2017).
2 : Entomoculture (275 t)	<ul style="list-style-type: none"> - Le procédé de fabrication de farine d’insectes d’Entosystem a des impacts similaires à celui modélisé dans Salomone et al. (2017); - Environ 50 % de l’eau est éliminée par le lavage et entraîne des résidus de l’opération de broyage, ce qui en fait de la boue organique (Salomone et al., 2017). Cela donne environ 30 kg d’eau + 10 kg de résidus de broyage. Cette boue organique est ensuite envoyée au compostage municipal, dont les impacts sont estimés être similaires à ceux du centre de compostage de Bury; - Ne connaissant pas l’emplacement de la nouvelle usine d’Entosystem, on suppose une distance semblable à celle utilisée dans Salomone et al. (2017); - Le rendement de la bouilloire est estimé à 80 %; - La consommation énergétique de la bouilloire est estimée à 3,3 kWh/kg d’eau (basé sur Silvestri, Cristoforetti et Mescalchin [2011]).

3.2.2 Limitations

En raison des nombreuses hypothèses et approximations faites dans le cadre de cet ACV (voir tableau 3.3), l’analyse des résultats doit être entreprise de façon prudente. Ce faisant, les écarts d’impacts relativement faibles ne pourront être utilisés pour tirer des conclusions, et les écarts importants devront être interprétés avec retenue. Voici une liste de limitations qui doivent être considérées lors de l’interprétation des résultats :

Généralement, les ACV sont réalisées en faisant une distinction entre les différentes phases du cycle de vie. De cette façon, il est possible de distinguer quelle phase présente le plus d’impacts et émettre des recommandations plus éclairées. Toutefois, dans le cadre de cette étude, la modélisation n’a pas fait de distinction entre les phases du cycle de vie afin d’alléger le processus.

3.3 Inventaire

Cette section présente le détail de l'inventaire du cycle de vie (ICV) utilisé pour la réalisation de la simulation des impacts du cycle de vie des différents scénarios à l'étude.

3.3.1 Scénario 0 : Référence

Comme mentionné précédemment, le scénario de référence représente la situation de la gestion des matières résiduelles organiques de Chocolat Lamontagne telle qu'elle l'était lors de l'année 2017. Ce faisant, la caractérisation présentée au chapitre 1 de cet essai a permis de séparer les 275 t de résidus en 4 modes de gestion, soit 140 t pour la refonte, 100 t pour la fabrication de moulée pour l'alimentation porcine, 30 t destinées à l'enfouissement et 5 t pour les dons alimentaires.

Refonte

Selon un rapport énergétique réalisé par la firme Systèmes Énergie TST inc., le procédé de refonte comprend les équipements suivants : 2 chauffe-eau d'une puissance de 3 kW, 3 pompes d'une puissance de 0,25 hp ou environ 0,19 kW, 2 moteurs de cuves d'une puissance de 5,6 kW et 4 fils chauffants de 0,1, 0,2, 0,3 et 0,4 kW de puissance (Beauchamp, B. et Desmeules, S., TST – rapport préliminaire – Chocolat Lamontagne, 22 mars 2018). Tous ces appareils fonctionnent à l'électricité et présentent donc un rendement énergétique de 100 %. Le temps d'utilisation des appareils est d'environ 2 h/t de chocolat à refondre, en moyenne (G.-P. Langelier, courriel, 21 août 2018). L'impact du bâtiment a été rapporté à l'aire approximative occupée par le procédé de refonte, soit environ le 30^e de l'usine.

Les impacts liés à la production du chocolat (qui est évitée) ont été modélisés en fonction des données utilisées dans Recanati et al. (2018). Certains changements ont été apportés afin d'être plus près de la réalité. Ainsi, les impacts liés à l'emballage ont été négligés, puisque le chocolat est acheminé à l'usine sans emballage. En outre, le transport du chocolat de l'usine de fabrication a été ajouté, c'est-à-dire le transport de l'usine de Barry Callebaut à Saint-Hyacinthe sur environ 125 km, ainsi que le transport de l'usine de Nutriart à Québec sur environ 230 km. Puis, en fonction de la contribution de chacun, une proportion de 25 % a été attribuée à Barry Callebaut et la balance à Nutriart. Finalement, il a été considéré que les dérivés de cacao issus de la fabrication de chocolat ont été envoyés au compostage. Le reste des données d'inventaire ont été tirées de l'article, en fonction des processus disponibles dans la banque de données *ecoinvent*.

Alimentation animale

La méthode de fabrication de moulée animale considérée, dont l'usine se situe à environ 75 km des installations de Chocolat Lamontagne, est demeurée confidentielle, faisant en sorte qu'un processus générique de la banque de données *Agri-footprint* a été utilisé pour le modéliser. Celui-ci se base sur la production d'un mélange d'aliments composés pour les porcs d'engraissement aux Pays-Bas. On y inclut la production des matières premières, mis à part les emballages, ainsi que la consommation énergétique liée aux activités de transformation et de mélange des ingrédients. Or, pour les fins de cette ACV, seule l'énergie nécessaire au mélange des ingrédients a été conservée dans le processus, puisque l'impact des autres matières n'est pas imputable au chocolat. Ce faisant, la consommation d'électricité pour le mélange des ingrédients s'élève à 0,309 MJ et un chauffage de 0,132 MJ est requis.

Le chocolat étant majoritairement constitué de glucides, on pose l'hypothèse qu'il remplace le sucre dans le mélange de moulée porcine. Ainsi, pour une tonne de chocolat acheminée à l'usine de fabrication de moulée, la production d'une tonne de sucre est évitée, incluant le transport de celui-ci jusqu'à l'usine de transformation. Pour ce qui est du bâtiment, les impacts de sa construction ont été rapportés à l'unité fonctionnelle.

Enfouissement

À l'usine de Chocolat Lamontagne, les résidus organiques destinés à l'enfouissement sont mis dans des bennes à ordures, qui sont vidées par l'entreprise de transport des matières résiduelles. Ils sont ensuite transportés à leur centre de transbordement, qui est à environ 5 km de distance, où les déchets subissent un tri grossier à la pelle. Il a été estimé que ce dernier prend 10 minutes par tonne de déchets pour les fins de la modélisation. Ensuite, les matières sont acheminées à un LET, qui est à environ 70 km, où elles sont enfouies. Pour simuler les impacts de l'enfouissement, un processus générique de la banque de données *ecoinvent* a été utilisé, qui représente l'enfouissement de déchets municipaux dans un LES au Québec.

Dons alimentaires

Les dons alimentaires sont effectués à quatre organismes. Ainsi, on suppose que la même quantité de chocolat est envoyée à chacun de ceux-ci, soit 250 kg par unité fonctionnelle. Le transport est d'environ 10 km pour Moisson Estrie, 9 km pour la Fondation Rock Guertin et 8 km pour l'Armée du Salut ainsi que pour Estrie-Aide. Les aliments sont ensuite entreposés jusqu'à l'expédition. Une aire de 2 m²/t d'aliments a été estimée pour tenir compte de l'entreposage.

3.3.2 Scénario 1 : Compostage

À la sortie de l'usine de Chocolat Lamontagne, les résidus organiques sont transportés sur une distance de 50 km au centre de compostage de Bury. Ils y subissent alors un traitement par compostage, ce qui a été

modélisé en sélectionnant un processus générique de la base de données *ecoinvent*. Celui-ci prend en considération toutes les étapes du compostage, allant de l'inspection des matières jusqu'à la production du compost fini. Afin de respecter le bouquet énergétique du Québec, la consommation en électricité a été adaptée. Le compost qui résulte de ce procédé permet l'évitement de fertilisant, lequel a été considéré comme un fertilisant azoté pour les fins de cette étude. Le taux de conversion du chocolat en compost a été estimé à 10 %, pourcentage qui a été inspiré du taux de conversion des résidus alimentaires présentés dans Salomone et al. (2017). Le taux a été révisé à la baisse afin de demeurer conservateur.

3.3.3 Scénario 2 : Entomoculture

Comme les informations sur le procédé de l'entreprise Entosystem étaient inconnues lors de la rédaction de cet essai, l'ICV de ce scénario a été tiré et adapté de Salomone et al. (2017), un article qui porte sur l'évaluation des impacts du cycle de vie du procédé de bioconversion de résidus alimentaires par *Hermetia illucens*, la mouche soldat noire. Comme Entosystem utilise également cet insecte pour la transformation des résidus alimentaires, cela se veut une estimation acceptable dans les circonstances. Toutefois, quelques données ont été modifiées afin de se rapprocher à la réalité du scénario. En effet, la consommation énergétique a été adaptée afin de respecter le bouquet énergétique québécois, et les résidus organiques issus du procédé ont été estimés à 40 kg/UF en fonction des informations présentes dans l'article, lesquels sont envoyés dans un processus générique de compostage.

3.4 Analyse des résultats

Dans l'optique d'alléger la présentation des résultats, seuls les résultats des catégories de dommages seront présentés. Les résultats des catégories de problèmes pourront être consultés à l'annexe 3.

La comparaison des impacts du cycle de vie du scénario de référence et des deux scénarios de traitement des résidus de chocolat, présenté à la figure 3.3, démontre que le premier est nettement plus avantageux d'un point de vue environnemental, et ce, pour les quatre catégories de dommages. En effet, pour la santé humaine, le compostage et l'entomoculture présentent moins de 5 % des impacts lorsque mis en relation avec le scénario de référence. En d'autres termes, puisqu'un pourcentage de 100 est attribué au scénario de référence, une valeur de moins de 5 % signifie que le compostage et l'entomoculture permettent d'éviter moins de 5 % des impacts du scénario de référence. Quant à la catégorie des changements climatiques, c'est plus de 15 % des impacts pour le compostage et plus de 10 % pour l'entomoculture, alors que c'est moins de 1 % pour la qualité des écosystèmes pour les deux scénarios, toujours par rapport au scénario de référence. Pour les ressources, le compostage présente environ 20 % des impacts relativement au scénario de référence, alors que c'est un peu plus de 10 % pour l'entomoculture. Puis, le scénario de compostage semble légèrement plus avantageux que le scénario de l'entomoculture. Une analyse statistique serait

toutefois nécessaire pour en venir à cette conclusion. Il est à noter que les trois scénarios à l'étude permettent l'évitement d'impacts environnementaux.

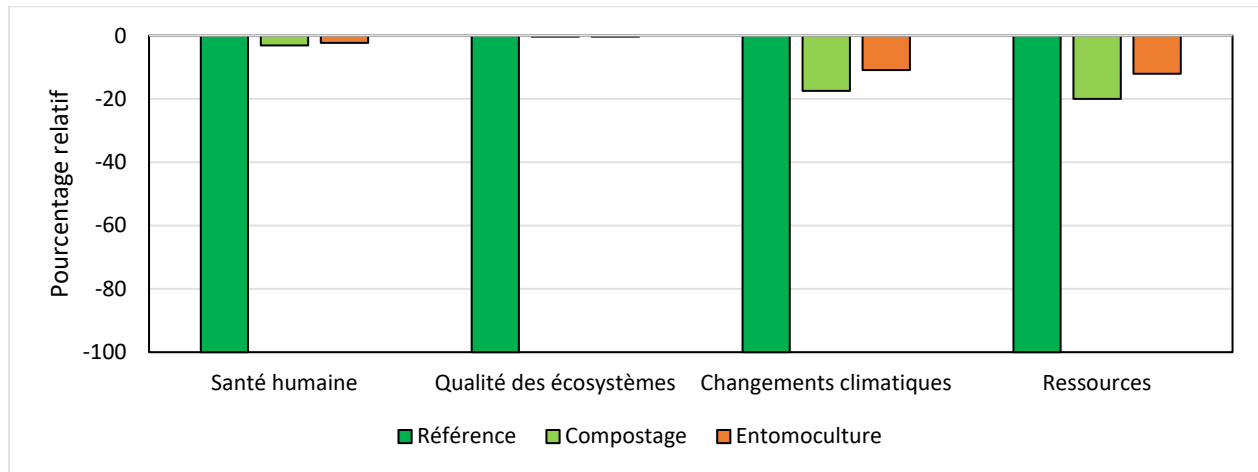


Figure 3.3 Comparaison des impacts du cycle de vie du scénario de référence et des deux scénarios de traitement du chocolat

En éclatant les sous-scénarios de référence, il est possible de constater que la refonte est responsable de la majorité des impacts évités, tel que le démontrent les figures 3.4 et 3.5. Cela s'explique par le fait que la refonte permet d'éviter la production de chocolat, de la production des ingrédients jusqu'au transport du chocolat à l'usine de Chocolat Lamontagne. Considérant que l'ingrédient de base du chocolat est le cacao et que celui-ci est cultivé dans des pays distants géographiquement du Québec, comme le Brésil, le transport représente des impacts significatifs.

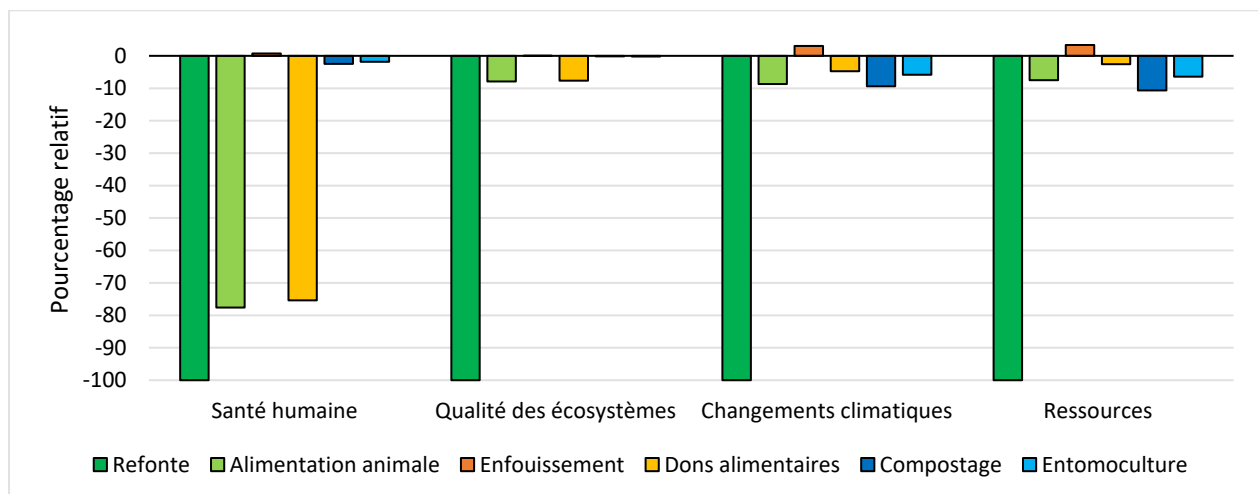


Figure 3.4 Comparaison des impacts des 4 sous-scénarios de référence avec les 2 scénarios de traitement du chocolat

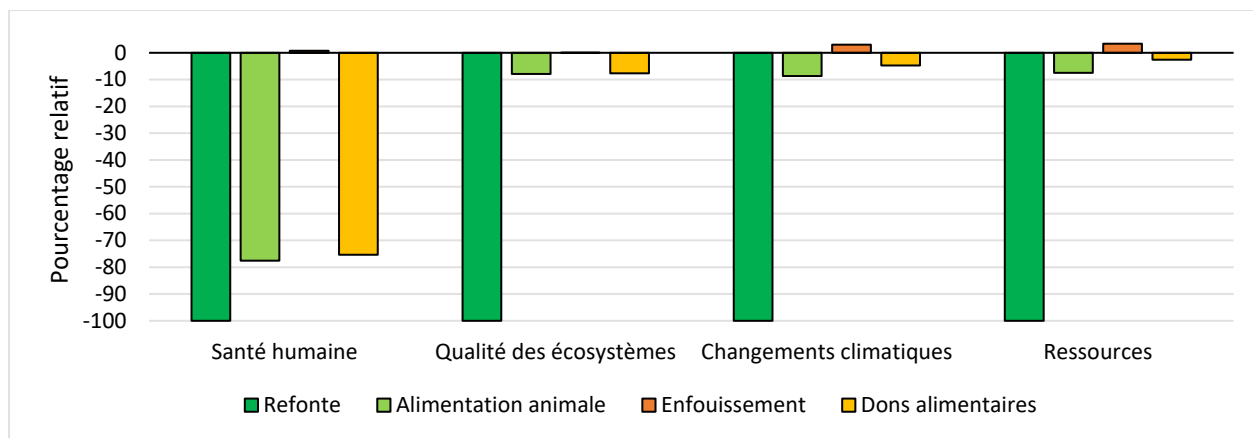


Figure 3.5 Comparaison des 4 sous-scénarios de référence

En retirant la refonte de l'équation, il est possible de mieux comparer les autres scénarios, comme illustrés à la figure 3.6. Il est à noter que le sous-scénario des dons alimentaires a également été exclu de la figure, puisque Chocolat Lamontagne n'a pas l'intention de cesser les dons, pour les bénéfices sociaux que cela représente. Ainsi, seuls les scénarios pertinents sont présentés.

Les résultats révèlent que l'enfouissement représente le scénario le plus impactant, comme attendu en raison de l'absence de traitement des résidus organiques. Quant à l'alimentation animale, ses impacts évités sont comparables à ceux du compostage et de l'entomoculture pour les catégories des changements climatiques et des ressources, et ils sont nettement supérieurs pour la santé humaine et la qualité des écosystèmes. Entre le compostage et l'entomoculture, le premier semble plus avantageux pour les catégories des changements climatiques et des ressources, mais les résultats sont sensiblement égaux pour les deux autres catégories de dommages.

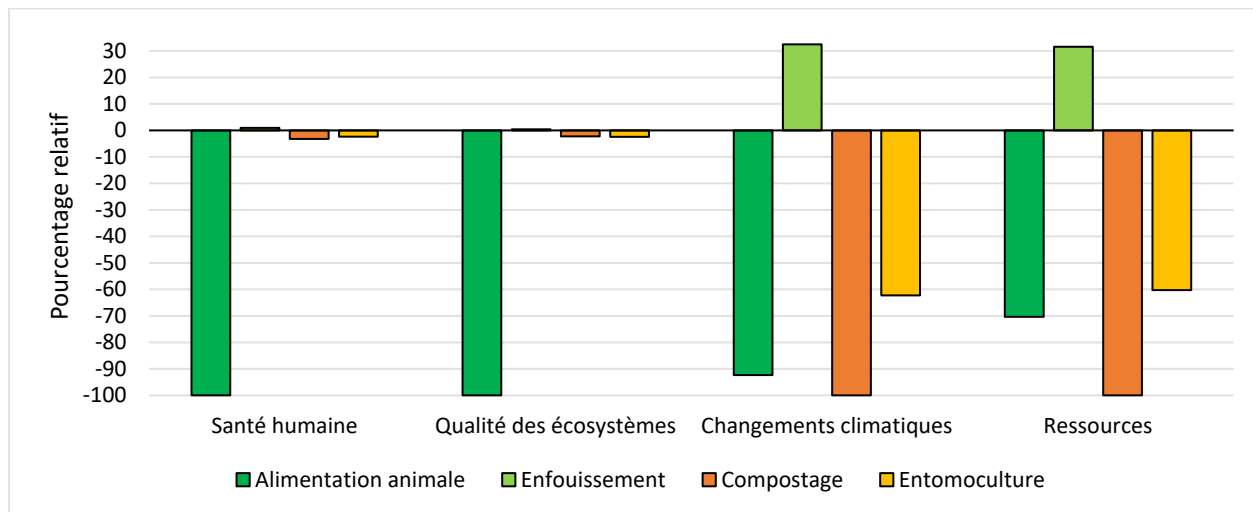


Figure 3.6 Comparaison des 2 sous-scénarios de référence qui présentent le plus grand potentiel de changement avec les 2 scénarios de traitement du chocolat

Globalement, il semble que l'alimentation animale soit l'option la plus avantageuse d'un point de vue environnemental, puisque ce scénario permet d'éviter le plus d'impacts pour deux catégories de dommages sur quatre, en plus d'être comparable au meilleur scénario pour les deux autres catégories. Il est suivi par le compostage, qui est environ 40 % moins impactant que l'entomoculture pour les changements climatiques et les ressources, et qui est comparable à l'entomoculture pour les deux autres catégories.

3.4.1 Analyse de sensibilité

Afin de s'assurer de la robustesse des résultats, une analyse de sensibilité a été réalisée. Celle-ci consiste en la variation de certains paramètres dans l'optique de juger de son influence sur les résultats.

Refonte

Comme mentionné précédemment, le processus qui influence le plus la refonte est la production du chocolat. Comme il n'est pas présent dans les banques de données consultées, il a dû être créé à partir d'articles scientifiques. Or, les seuls articles traitant de l'analyse des impacts du cycle de vie de la production du chocolat ont été réalisés sur un chocolat noir produit en Italie, ou un chocolat au lait produit au Royaume-Uni. Suite à la modélisation des deux chocolats, les résultats absolus ont légèrement changé, mais les résultats relatifs au scénario de référence sont demeurés sensiblement les mêmes.

Alimentation animale

Dans le mélange utilisé pour la fabrication de moulée animale, on estime que le chocolat remplace le sucre, puisqu'il est principalement composé de glucides. Dans la banque de données *ecoinvent*, le sucre provient de deux sources, soit le sucre de betterave et le sucre de canne. Ainsi, pour l'analyse de sensibilité, les proportions de ces sucres ont été variées :

- 100 % de sucre de betterave;
- 50 % de sucre de betterave et 50 % de sucre de canne;
- 100 % de sucre de canne.

Bien que les résultats absolus changent considérablement, les mêmes conclusions peuvent être tirées avec les trois variations. Le sucre de canne est en effet bien plus impactant que le sucre de betterave pour toutes les catégories d'impact, mis à part les ressources.

D'un autre côté, le chocolat contient également une part significative de lipides, soit environ 30 % selon le type de chocolat. Ce faisant, l'analyse de sensibilité a considéré un scénario où le chocolat est constitué à 30 % d'huile de soya, à 35 % de sucre de canne et à 35 % de sucre de betterave. Idéalement, la portion

lipidique du chocolat aurait été modélisée en tant que gras animal ou d'huile végétale, mais la base de données employée ne contient pas les processus nécessaires. Ceci étant dit, les résultats obtenus par ce test révèlent que le sous-scénario de l'alimentation animale est plus impactant du point de vue de la santé humaine, qu'il a peu ou pas d'effet sur la catégorie de la qualité des écosystèmes, et qu'il a moins d'impact pour les deux autres catégories, particulièrement pour les changements climatiques. Pour cette dernière, ce sous-scénario présente plus de trois fois moins d'impacts que le compostage et l'entomoculture.

À la lumière de ces résultats, on peut conclure que la modélisation des éléments remplacés par le chocolat dans la formulation de moulée animale a un impact significatif sur les résultats, ce qui démontre un manque de robustesse dans la modélisation de ce sous-scénario.

Dons alimentaires

Tout comme pour l'alimentation animale, le chocolat remplace le sucre, qui représente un aliment sucré que le consommateur aurait pu acheter. Ainsi, les mêmes proportions d'huile de soya, de sucre de betterave et de canne ont été testées. Lorsque la modélisation prend en compte 100 % de sucre de canne évité, les impacts évités dépassent ceux de l'alimentation animale de près du double pour les catégories de la santé humaine et de la qualité des écosystèmes. Pour la catégorie des changements climatiques, l'impact évité est dans l'ordre des scénarios de l'alimentation animale, du compostage et de l'entomoculture. Les impacts des ressources ne sont que légèrement affectés. Pour une proportion de 100 % de sucre de betterave, seule la catégorie des ressources est influencée, où les impacts évités sont triplés. Lorsque l'huile de soya est incluse à l'analyse, les résultats indiquent que le sous-scénario des dons alimentaires est plus impactant du point de vue de la santé humaine, qu'il n'a peu ou pas d'effet sur la catégorie de la qualité des écosystèmes, et qu'il a moins d'impact pour les deux autres catégories, particulièrement pour les changements climatiques. Pour cette dernière, ce sous-scénario présente plus de trois fois moins d'impacts que le compostage et l'entomoculture.

Un autre paramètre ayant fait l'objet d'une approximation a été varié afin d'observer son influence sur les résultats : l'aire d'entreposage. Estimé à 2 m²/UF, les aires de 0,5 m² et de 1 m² ont été testées. Les résultats démontrent que l'aire d'entreposage a une influence significative sur la catégorie des ressources. En effet, à l'aire la plus faible, les impacts évités deviennent comparables au compostage pour cette catégorie, alors qu'à l'aire la plus élevée, les impacts causés surpassent les impacts évités.

Compostage

Pour ce qui est du scénario de compostage, le taux de conversion des résidus de chocolat en compost étant inconnu, un taux de 10 % a été estimé en fonction de données provenant de la littérature. Pour les fins de l'analyse de sensibilité, des taux de 5 % et de 15 % ont donc été testés. Pour le taux le plus faible, les impacts évités deviennent plus faibles que ceux du scénario de l'entomoculture, alors qu'ils les surpassent significativement pour le taux le plus élevé. Cela démontre donc que ce paramètre a une influence élevée sur les résultats.

Entomoculture

Pour le scénario de l'entomoculture, toutes les données d'inventaires proviennent d'un article scientifique, mis à part la distance de transport des résidus organiques. Ce faisant, seul ce paramètre a été varié. Les distances de 10, 24.3 et de 40 km ont été testées, et les résultats révèlent que ce paramètre a une influence négligeable sur les impacts.

3.4.2 Résumé

En résumé, l'analyse du cycle de vie identifie la refonte comme l'option permettant la plus grande réduction des impacts environnementaux pour les quatre catégories d'impacts. L'enfouissement est quant à elle la pire méthode de gestion des résidus organiques du point de vue des impacts, en plus de ne pas s'inscrire dans le cadre d'une économie circulaire. Pour ce qui est des autres voies de valorisation modélisées, l'alimentation animale et les dons alimentaires sont les meilleurs choix après la refonte, suivi par le compostage et l'entomoculture, respectivement. Toutefois, l'analyse de sensibilité révèle que les résultats sont peu robustes, ce qui remet en question l'ordre établi. Les considérer comme égaux semble donc plus judicieux.

4. ANALYSE ÉCONOMIQUE

Ce chapitre a pour objectif d'analyser l'aspect économique en lien avec les différents scénarios sélectionnés. On y présentera donc la méthodologie employée pour réaliser cette analyse, de même que les résultats et leur interprétation. Il est à noter qu'en vertu de l'entente de confidentialité signée avec Chocolat Lamontagne, le détail des données financières utilisées pour l'analyse économique ne sera pas révélé.

4.1 Méthodologie

Tout comme pour l'analyse environnementale du cycle de vie, ce chapitre ne vise pas à faire une analyse économique exhaustive, mais bien de fournir une vue d'ensemble permettant une comparaison entre les scénarios. Par ailleurs, la méthodologie a été adaptée en fonction des informations qui ont pu être récoltées et de sorte de ne pas poser d'hypothèses trop importantes. Le coût de fabrication d'un produit standard a d'abord été calculé afin de connaître la valeur (ou l'argent investi) des produits à valoriser. Puis, les coûts annuels des différents scénarios ont été factorisés. Le tout a été rapporté à un montant à la tonne, puis projeté sur une période de 5 ans, en considérant une stabilité de la valeur du chocolat, des coûts de fabrication et de main-d'œuvre, des coûts liés aux différents scénarios, etc.

4.2 Détail des différents scénarios

Cette section présente le détail des données utilisées pour réaliser l'analyse économique, ce qui implique les hypothèses posées ainsi que la provenance des données. À cet égard, le tableau 4.1 regroupe l'ensemble des informations utilisées.

Tableau 4.1 Détail des données financières utilisées pour la réalisation de l'analyse économique en fonction des différents scénarios

Scénarios	Données		Hypothèses/source
Données communes	Coût moyen chocolat	- \$/kg	(C. Hamel, discussion en personne, 7 août 2018)
	Frais généraux de fabrication	- %	(C. Hamel, Calcul de recyclage [fichier Excel], 1 ^{er} juin 2018)
	Main-d'œuvre directe	- %	(C. Hamel, Calcul de recyclage [fichier Excel], 1 ^{er} juin 2018)
	Marge de vente	- %	(C. Hamel, discussion en personne, 7 août 2018)
0 : Référence			
Refonte (140 t)	Salaire opérateur	- \$/an	(C. Hamel, discussion en personne, 7 août 2018)
	Frais d'entreposage	- \$/an	(C. Hamel, discussion en personne, 7 août 2018)
	Frais de refonte	- %	On suppose que les frais de refonte, qui comprennent le coût des équipements, du bâtiment et la consommation énergétique, représentent - % du coût total. Hypothèse corroborée par (C. Hamel, courriel, 6 septembre 2018)
Alimentation animale (100 t)	Prix de vente chocolat	- \$/kg	(B. Chapdelaine, Bon de commande du 16 avril 2018, 8 mai 2018)
	Frais de gestion	- %	On suppose que les frais de gestion, qui comprennent le tri des matières et les frais d'expédition, représentent - % du coût total. Hypothèse basée sur les frais administratifs de l'enfouissement
Enfouissement (30 t)	Coût Enfouissement	- \$/mois	(C. Hamel, conversation en personne, 22 mai 2018; C. Hamel, courriel, 11 juin 2018) On suppose que le coût d'enfouissement des matières organiques est égal au coût d'enfouissement de toutes les matières, moins les extras
	Frais administratifs	- %	(C. Hamel, discussion en personne, 7 août 2018)
	Frais supplémentaires	- %	On suppose que le tri des matières et les frais associés aux étapes d'emballage (pour certains produits) représentent - % du coût total
Dons alimentaires (5 t)	Frais de gestion	- %	(C. Hamel, discussion en personne, 7 août 2018)
	Marge brute vente à rabais	- %	(C. Hamel, courriel, 16 octobre 2018)
1 : Compostage	Coût compostage	- \$/mois	- \$/mois + taxes (A. Daigle, courriel, 7 septembre 2018)
	Coût carburant	- %	(A. Daigle, courriel, 7 septembre 2018)
	Fréquence transport	- x/semaine	Hypothèse basée sur le volume de chargement d'un conteneur (4 vg ³) et la quantité de matière à récolter (environ 130 t/an)
2 : Entomoculture	Frais de gestion	- %	On suppose des frais de gestion comparables à ceux du scénario de l'alimentation animale
	Prix de vente chocolat	- à - \$/kg	Vente de - \$/lb la première année, augmentant de - \$/kg par année pendant 5 ans (C. Turgeon, courriel, 24 septembre 2018)

4.3 Résultats et analyse

Suite à la récolte des données financières en lien avec les différents scénarios, les calculs ont été effectués selon la méthodologie présentée à la section 4.1. Cette section compile donc les résultats obtenus et contient une analyse de ceux-ci.

4.3.1 Présentation des résultats

Certains résultats sont communs à tous les scénarios et ont servi de base de calcul. Par exemple, en incluant les frais généraux de fabrication et la main-d'œuvre directe au coût moyen d'achat du chocolat, on obtient une valeur exprimée en \$/t qui représente la valeur monétaire des résidus à valoriser en fonction des coûts de l'entreprise. Ce faisant, dans la présentation des résultats, une distinction sera faite entre ceux qui incluent les coûts de fabrication des produits et ceux qui les excluent.

Voici un exemple de calcul similaire à tous les scénarios, lorsque la valeur du produit est exclue de l'équation (sans les données financières qui sont confidentielles) :

$$\text{Coût refonte} = \text{Salaire opérateur} + \text{Frais d'entreposage} + \text{Frais de refonte}$$

$$\text{Où} \quad \text{Frais de refonte} = \text{Coût chocolat moyen} \times \text{FGF} \times \text{MOD} \times \\ \text{Quantité chocolat refondu} \times \% \text{ frais de refonte}$$

$$\text{Et} \quad \text{FGF} : \text{Frais généraux de fabrication, MOD} : \text{Main-d'œuvre directe}$$

Voici un exemple de calcul similaire à tous les scénarios, lorsque la valeur du produit est incluse de l'équation :

$$\text{Coût refonte} = (\text{Valeur vente} - \text{Coût fabrication}) \div \text{Quantité chocolat refondu}$$

$$\text{Où} \quad \text{Valeur vente} = \text{Coût fabrication} \times \text{Facteur de vente}$$

Et

$$\begin{aligned} \text{Coût fabrication} \\ = \text{Coût chocolat moyen} \times \text{FGF} \times \text{MOD} \times \text{Quantité chocolat refondu} \\ + \text{frais de refonte} + \text{Salaire opérateur} + \text{Frais entreposage} \end{aligned}$$

Refonte

Le sous-scénario de la refonte se distingue des autres scénarios par le fait que le produit issu de ce processus peut être réacheminé dans le procédé, puis éventuellement vendu au client. De ce fait, le prix de vente a été inclus au calcul.

Alimentation animale

Pour ce qui est du sous-scénario de l'alimentation animale, les résidus de chocolat, jugés impropres à la consommation humaine, sont vendus à une entreprise œuvrant dans la fabrication de moulée porcine à un prix considérablement moins élevé que pour un produit conforme.

Enfouissement

Les produits envoyés à l'enfouissement sont généralement jugés impropres à la consommation ou présentant un défaut de fabrication ou d'emballage ne permettant pas son retour dans le processus de valorisation des résidus de chocolat. Ce faisant, ce sous-scénario n'apporte aucun retour et représente même des coûts supplémentaires pour la gestion des résidus.

Dons alimentaires

Comme pour la refonte, les résidus destinés aux dons alimentaires sont par le fait même toujours propres à la consommation. Ce sont ainsi des produits qui seraient vendus au rabais s'ils n'étaient pas remis aux banques alimentaires, ce qui augmente leur valeur par rapport à des produits impropres à la consommation.

Compostage

Tout comme pour l'enfouissement, le scénario du compostage requiert de payer pour la gestion des résidus, ce qui le désavantage par rapport à un scénario où les résidus ont une valeur monétaire.

Entomoculture

Le scénario de l'entomoculture s'apparente à celui de l'alimentation animale, puisque les résidus de chocolat sont vendus à une entreprise qui se chargera de sa valorisation. Comme on estime des frais de gestion similaires à ceux de l'alimentation animale, le coût de l'entomoculture est égal à cet autre scénario. Par contre, les résidus seraient vendus à un coût plus élevé, augmentant du même montant chaque année jusqu'à atteindre un plafond après 5 ans. De ce fait, le coût de retour sera supérieur dès la première année, en plus d'être croissant d'année en année.

Résumé

En guise de représentation graphique des résultats, la figure 4.1 présente une projection des coûts à la tonne liée à la gestion des résidus de chocolat selon les différents scénarios étudiés, en excluant la valeur des produits, alors que la figure 4.2 présente la même information, mais en incluant la valeur des produits. Les données de l'axe des ordonnées ont été retirées par souci de confidentialité. Pour bien interpréter ces graphiques, il est important de noter qu'un coût positif constitue un gain, alors qu'un coût négatif constitue une perte.

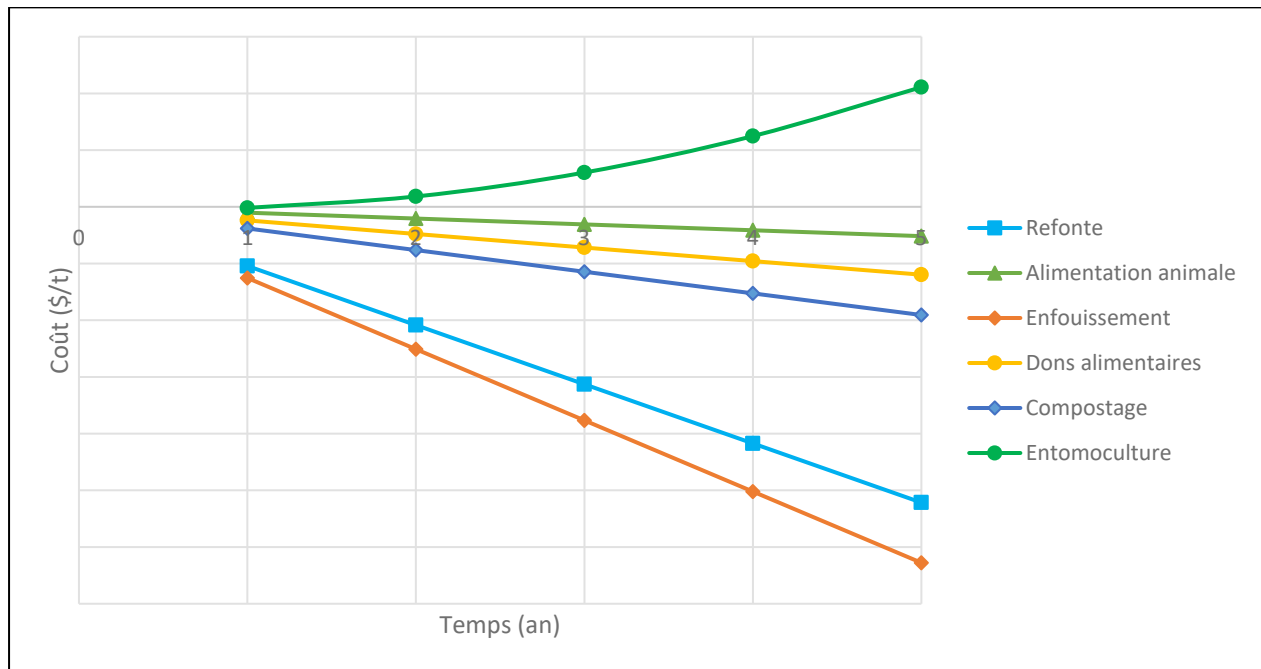


Figure 4.1 Projection des coûts à la tonne liée à la gestion des résidus de chocolat selon les différents scénarios étudiés, en excluant la valeur des produits

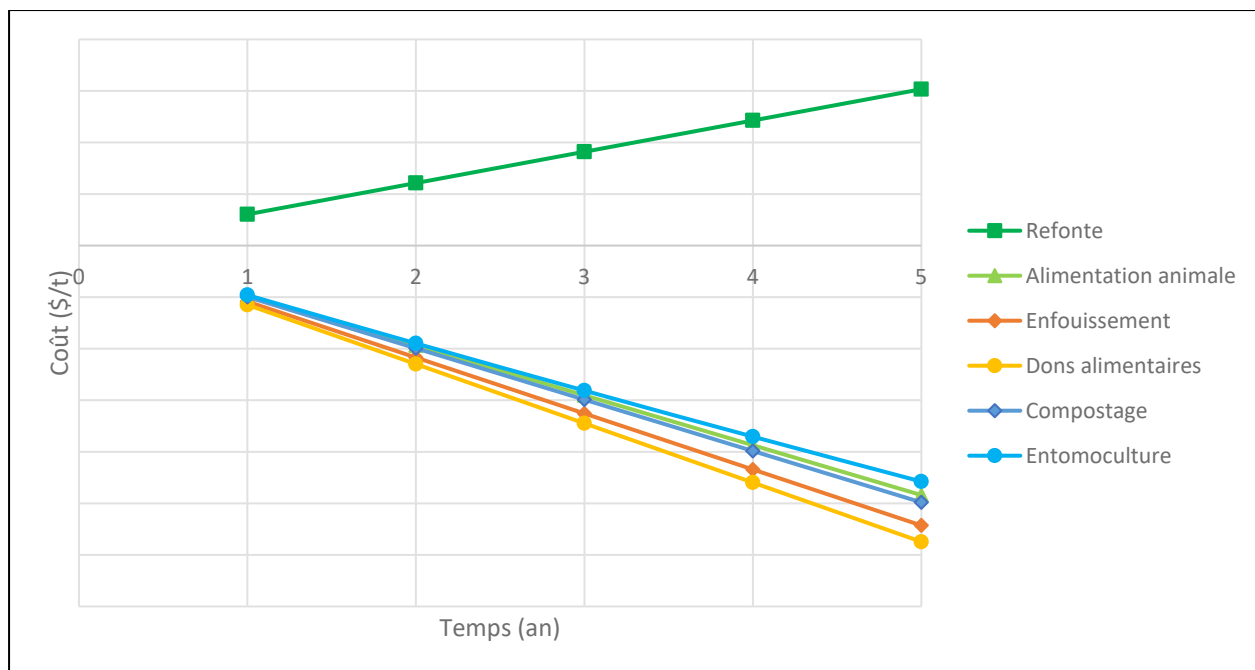


Figure 4.2 Projection des coûts à la tonne liée à la gestion des résidus de chocolat selon les différents scénarios étudiés, en incluant la valeur des produits

4.3.2 Analyse des résultats

La figure 4.1 illustre clairement que l'entomoculture est le seul scénario qui permette d'obtenir un profit lorsque la valeur financière des produits est prise en considération. Cela s'explique par le fait que les résidus de chocolat seraient vendus à un prix supérieur au coût de gestion des résidus. Pour le sous-scénario de l'alimentation animale, les résidus sont également vendus, mais le prix obtenu pour ceux-ci est inférieur au coût de gestion des résidus. Quant aux autres scénarios, les dons alimentaires se distinguent par le fait que mis à part les frais de gestion des résidus, aucun montant supplémentaire n'est à déboursier pour en disposer. Ce sous-scénario est donc suivi par le compostage, la refonte et l'enfouissement, qui sont respectivement les scénarios les plus onéreux.

Si l'on inclut la valeur des résidus de chocolat dans l'analyse, la refonte est le seul scénario qui permette la réalisation de profits, sur une base brute. Cela s'explique par le fait que suite à la refonte des résidus, le chocolat peut être réintroduit dans le processus de fabrication et être éventuellement vendu. Pour les autres scénarios, mis à part les dons alimentaires, les résidus ne sont plus considérés comme aptes à la consommation humaine, ce qui les exclut d'une vente sur le marché de l'alimentation. Puis, parmi les autres scénarios, l'entomoculture est celui qui occasionne le moins de pertes, suivi par l'alimentation animale, puisqu'un montant est obtenu pour les résidus. Le compostage et l'enfouissement suivent respectivement, pour terminer par le sous-scénario des dons alimentaires. Ce dernier se retrouve à cette position en raison de la méthodologie de calcul employé. En effet, comme les produits offerts en donation sont considérés

comme étant toujours propres à la consommation, ils ont une certaine valeur sur le marché, laquelle s'additionne aux frais de fabrication et de gestion.

5. RECOMMANDATIONS ET LIMITES DE L'ÉTUDE

L'interprétation des résultats obtenus par l'analyse environnementale du cycle de vie et l'analyse économique permet d'émettre des recommandations qui aideront à appuyer le processus décisionnel de l'organisation en ce qui a trait à la gestion de ses résidus de chocolat. Néanmoins, la présente étude s'accompagne de certaines limitations qui doivent être considérées pour relativiser le poids des recommandations.

5.1 Recommandations

L'élaboration du chapitre 1 de cet essai, qui se veut une caractérisation des résidus organiques a mis en lumière certaines lacunes dans le suivi des matières résiduelles produites. Notamment, les quantités et les types de matières générées ne sont pas compilés systématiquement, un tri à la source n'est pas réellement en place, aucun déballage n'est effectué, etc. Ce faisant, en considérant que l'information et les données constituent des atouts importants pour la prise de décision, implanter un suivi des matières résiduelles permettrait d'améliorer considérablement la GMR de l'entreprise, pas seulement pour les matières organiques.

D'ailleurs, dans la méthode hiérarchique de gestion des matières résiduelles des 3RV, le premier R, la réduction à la source, devrait constituer la priorité pour l'organisation. Un résidu non produit n'a pas à être géré et peut même être techniquement mis en marché. C'est donc une voie bénéfique tant d'un point de vue environnemental qu'économique. Ainsi, bien que Chocolat Lamontagne veille déjà à réduire sa production de résidus organiques, il semble impératif que ces efforts soient soutenus et que l'avenue d'y investir davantage soit envisagée.

Dans le cadre de cet essai, Chocolat Lamontagne s'est engagé dans des démarches de symbioses industrielles par l'entremise de l'organisme Synergie Estrie. Cet accompagnement était d'abord et avant tout ciblé sur la gestion des résidus organiques, mais elle a démontré un potentiel intéressant en ce qui a trait à la gestion des autres matières générées par l'entreprise. La poursuite de ce type d'initiatives s'avère donc une solution efficace pour pallier au manque d'expertise en environnement de l'organisation.

À la lumière des résultats obtenus par l'ACV, il est possible d'émettre des recommandations sur l'aspect environnemental des voies de valorisation à l'étude, soit le scénario de référence, le compostage et l'entomoculture. Tout d'abord, la refonte du chocolat est de loin la méthode de gestion des résidus de chocolat qui permette le gain environnemental le plus important et doit donc être priorisée lorsque possible.

Or, tous les produits ne peuvent être refondus et doivent ainsi être gérés différemment. Dans ce cas, l'alimentation animale et les dons alimentaires semblent les meilleures options, *a priori*. Il faut garder à l'esprit que la modélisation de ces sous-scénarios s'est basée sur certaines hypothèses susceptibles d'affecter grandement les résultats, comme l'a démontré l'analyse de sensibilité. Ceci étant dit, le compostage et l'entomoculture présentent également des impacts évités similaires, alors que l'enfouissement est le sous-scénario à éviter. Ce faisant, d'un point de vue strictement environnemental, il est préférable de prioriser la refonte et éviter l'enfouissement, mais comme il est difficile de départager les scénarios restants en fonction de la présente analyse, il faudra se baser sur l'aspect financier.

Tout comme pour l'ACV, l'analyse économique révèle que la refonte est le sous-scénario le plus favorable, étant la seule voie de valorisation à permettre un gain monétaire. Puis, dans l'ordre, les scénarios à prioriser sont l'entomoculture, l'alimentation animale, le compostage, l'enfouissement et les dons alimentaires.

Cela permet donc de positionner les scénarios dans l'ordre suivant de priorisation : (1) refonte, (2) entomoculture, (3) alimentation animale, (4) compostage, (5) enfouissement/dons alimentaires, à savoir quel paramètre l'entreprise priorise entre l'environnement et l'aspect économique pour départager ces derniers.

En terminant, il est impératif de rappeler que cet essai se veut une étude préliminaire. L'ACV et l'analyse économique ont donc été réalisées de façon simplifiée. De surcroît, les recommandations émises en lien avec ces analyses doivent être considérées avec prudence.

5.2 Limites du projet

Comme mentionné précédemment, cet essai de maîtrise se veut d'abord et avant tout une étude simplifiée et préliminaire. De surcroît, elle présente certaines limitations qui devront être surmontées lors de la réalisation d'une analyse plus exhaustive, le cas échéant :

- Acquisition des données : en raison de contraintes temporelles, de disponibilité de l'information et par souci de confidentialité, plusieurs données n'ont pu être obtenues, ce qui fait en sorte que des hypothèses et des approximations ont été effectuées;
- Les données utilisées pour la réalisation de cette analyse proviennent de l'année 2017. Or, les résidus générés par l'entreprise changent significativement d'une année à l'autre en fonction de plusieurs facteurs. La caractérisation présentée au chapitre 1 n'est donc pas nécessairement applicable aux années ultérieures;

- Aucune séparation des phases du cycle de vie n'a été effectuée par manque d'informations et de temps, ce qui limite la portée des recommandations émises;
- Bien que certaines informations contenues dans ce travail peuvent être applicables à d'autres résidus organiques, les résultats de l'étude portent sur les résidus de chocolat de l'entreprise Chocolat Lamontagne;
- Aucune analyse statistique n'a été réalisée, ce qui fait en sorte que les incertitudes des résultats quantitatifs n'ont pas été considérées;
- L'analyse économique n'a pas pris en considération les projections des différents paramètres (ex. : valeur des intrants, valeur de vente des produits, etc.) dans le temps, ce qui ajoute une marge d'erreur importante sur les prévisions calculées;
- L'analyse économique a été faite sous la forme d'un bilan financier et non d'une analyse des coûts du cycle de vie (ACC). Ainsi, les paramètres comptables comme l'amortissement des équipements et des bâtiments, la valeur actuelle nette (VAN), le taux de rendement interne (TRI), le délai de récupération (DR), et d'autres, ont été exclus de cette étude.

CONCLUSION

Les organisations comme Chocolat Lamontagne doivent se soumettre aux exigences gouvernementales en matière d'environnement, qui évoluent sans cesse au fil du temps. C'est pourquoi, dans le cadre de l'interdiction de l'enfouissement des matières organiques de 2020 ainsi que pour accroître sa compétitivité sur le marché, l'entreprise québécoise a fait des démarches pour trouver de meilleures voies de valorisation pour ses résidus de chocolat. Cela constitue donc l'objectif général de ce travail.

Pour y parvenir, il est d'abord impératif de connaître la composition des résidus à valoriser. De surcroît, le premier objectif spécifique consiste en la caractérisation des matières résiduelles organiques produites par l'usine de Chocolat Lamontagne. Le second objectif spécifique se traduit par une revue des méthodes de valorisation possibles pour des résidus organiques, ce qui comprend également les possibilités de synergies industrielles. Puis, dans l'optique de déterminer la meilleure voie de valorisation des résidus organiques de l'entreprise, une analyse du cycle de vie a été réalisée pour faire état des impacts environnementaux des scénarios à l'étude, alors qu'une analyse économique permet de mettre en lumière les options les plus avantageuses sur le plan financier. Des recommandations ont ensuite pu être émises à la lumière des résultats obtenus.

Le chapitre 1 a permis de caractériser les matières résiduelles organiques produites lors de l'année 2017. À cet égard, les résidus de chocolat ont pu être catégorisés en fonction de leur mode de gestion actuelle, soit 140 t en refonte, 100 t destinées à l'alimentation animale, 30 t à l'enfouissement, 6 t en vente à rabais et 5 t en dons alimentaires. Les raisons menant à la production de ces résidus ont été mises en évidence, de même que les principaux produits qui les composent. En outre, les compositions moyennes par filière de gestion ont été évaluées, qui peuvent essentiellement se résumer avec 60 % de glucides, 30 % de lipides, 5 % de protéines et 5 % d'eau, de vitamines et de minéraux.

Le second chapitre a recensé les principales voies de valorisation des matières organiques qui s'offrent à Chocolat Lamontagne dans une perspective d'économie circulaire. Ainsi, sur le plan régional, le compostage et l'entomoculture se sont avérés être les options présentant le meilleur potentiel de réalisation selon l'organisme Synergie Estrie. Le compostage serait réalisé par l'entremise de la Ville de Sherbrooke, alors que l'entomoculture serait effectuée par la jeune entreprise Entosystem. Par ailleurs, ces deux méthodes de valorisation ont été décrites pour bien connaître leurs implications.

Pour sa part, le chapitre 3 a fait l'analyse des impacts du cycle de vie des deux scénarios ressortis au chapitre 2 en les comparant à la situation en vigueur en 2017. Les résultats ont révélé que la refonte est de loin l'option à prioriser sur le plan environnemental, alors que l'enfouissement est à éviter. Quant aux autres scénarios, il est difficile de trancher en raison de la nature des hypothèses posées. Néanmoins, il est possible

d'affirmer qu'ils permettent d'éviter des impacts environnementaux, dont seule une ACV complète pourrait les quantifier de façon précise.

Le chapitre 4 présente une analyse économique comparant également le compostage et l'entomoculture au scénario de référence. Celle-ci démontre que l'entomoculture est le scénario le plus avantageux lorsque la valeur des résidus n'est pas prise en considération, alors que l'enfouissement est le plus onéreux. Cependant, si l'on entre la valeur des résidus dans l'équation, la refonte représente la meilleure option sur le plan économique, alors que les dons alimentaires engendrent le plus de pertes.

Globalement, ce travail a permis de déterminer les meilleures voies de valorisation des résidus de chocolat produits par l'usine de Chocolat Lamontagne, et ce, en fonction des considérations environnementales et économiques. En effet, lorsque la réduction à la source n'est pas possible, les méthodes de gestion des matières résiduelles organiques à privilégier sont les suivantes : (1) refonte, (2) entomoculture, (3) alimentation animale, (4) compostage, (5) enfouissement et dons alimentaires. Par ailleurs, si l'aspect social avait été inclus à cette analyse, il est possible de croire que les dons alimentaires auraient surpassé l'enfouissement, puisque ceux-ci permettent de lutter contre le gaspillage alimentaire, en plus de favoriser la sécurité alimentaire de gens dans le besoin. Dans le même ordre d'idées, le scénario de l'entomoculture favorise l'essor d'une entreprise en démarrage, ce qui est favorable au développement économique de la région et permet de lutter contre le gaspillage alimentaire. De surcroît, il aurait été intéressant de pousser l'analyse en incluant le volet social, en plus de faire une ACV et une analyse économique complète.

RÉFÉRENCES

- Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA). (2017). *Introduction - Réglementation des aliments du bétail au Canada*. Repéré à <http://www.inspection.gc.ca/animaux/aliments-du-betail/directives-reglementaires/rg-1/introduction/fra/1493737712622/1493737821272>
- ACIA. (2018). Meuneries commerciales d'aliments du bétail inscrites au Programme canadien de certification des porcs exempts de ractopamine. Repéré à <http://www.inspection.gc.ca/animaux/aliments-du-betail/inspection-des-aliments-du-betail/programme-canadien-de-certification-des-porcs-exem/fra/1437148393953/1437148949738>
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). (2014). Comment réalise-t-on une ACV?. Repéré à <http://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/passer-a-laction/dossier/lanalyse-cycle-vie/comment-realise-t-acv>
- Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [anses]. (2015). *AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à « la valorisation des insectes dans l'alimentation et l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les risques sanitaires en lien avec la consommation des insectes »*. Repéré à <https://www.anses.fr/fr/system/files/BIORISK2014sa0153.pdf>
- Armée du Salut. (s.d.). *Lutte contre la pauvreté*. Repéré à <http://armeedusalut.ca/lutte-contre-la-pauvrete/>
- Bernard, T. et Womeni, H.M. (2017). *Entomophagy : Insects as Food*. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/316431740_Entomophagy_Insects_as_Food
- Bio Intelligence Service. (2010). Preparatory study on food waste across EU 27. Repéré à http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/bio_foodwaste_report.pdf
- Boutin, É. (2009). *Valorisation des rejets organiques de Biscuits Leclerc ltée par production de compost de haute qualité* (Mémoire de maîtrise, Université du Québec, Ville de Québec, Québec, Canada). Repéré à <http://espace.inrs.ca/473/1/T000505.pdf>
- Bureau de normalisation du Québec (BNQ). (s.d.). *Composts*. Repéré à <https://www.bnq.qc.ca/fr/normalisation/environnement/composts.html>
- Cabrera, P., Hénault-Éthier, L., Lefebvre, B. et Tchum-Tchouwo, A. (2015). *La faisabilité des élevages d'insectes pour la consommation humaine ou animale en milieu urbain*. Repéré à <file:///Z:/T%C3%A9chargements/Cabreraetal.2015RapportENV773Lversioncorrige2015-11-25.pdf>
- Centre d'information sur la qualité des aliments (Ciqua). (2017a). Chocolat blanc, tablette. Repéré à <https://ciqua.anses.fr/#/aliments/31010/chocolat-blanc-tablette>
- Chapagain, A.K. et Hoekstra, A.Y. (2003). *Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products*. Repéré à <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report13.pdf>
- Ciqua. (2017b). Chocolat noir à moins de 70% de cacao, à croquer, tablette. Repéré à <https://ciqua.anses.fr/#/aliments/31005/chocolat-noir-a-moins-de-70%-de-cacao-a-croquer-tablette>

- Ciqua. (2017c). Chocolat noir à 40% de cacao minimum, à pâtisser, tablette. Repéré à <https://ciqua.anses.fr/#/aliments/31085/chocolat-noir-a-40%-de-cacao-minimum-a-patisser-tablette>
- Ciqua. (2017d). Chocolat au lait, tablette. Repéré à <https://ciqua.anses.fr/#/aliments/31004/chocolat-au-lait-tablette>
- Ciqua. (s.d.). Chocolat, en tablette (aliment moyen). Repéré à <https://ciqua.anses.fr/>
- Cloutier, J. (2015). *Est-ce que le stockage d'énergie au Québec pourrait être avantageux d'un point de vue environnemental?: Analyse du cycle de vie attributionnelle et conséquentielle* (Essai de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec.
- Codex Alimentarius Commission (CAC). (2003). *Norme pour le chocolat et les produits à base de chocolat*. CODEX STAN 87-1981, Rév. 1 – 2003.
- Communauté Métropolitaine de Montréal (CMM). (s.d.). *Comparaison des technologies et des scénarios de gestion des matières résiduelles*. Repéré à http://cmm.qc.ca/fileadmin/user_upload/documents/Etude_Technologies_PMGM.pdf
- Demers, A. et Beaudoin, M.-H. (2017). *Optimisation de la gestion des matières résiduelles : Parc industriel régional de Sherbrooke*. Repéré à https://www.environnementestrie.ca/imports/pdf/gmr/rapport_pir_anonyme.pdf
- Dicke, M., van Huis, A., Peters, M. et van Gurp, H. (2014). The hockey stick pattern in the acceptance of edible insects in the Netherlands. Dans Wageningen University and Research Centre (WUR) et United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) (dir.), *Insects to Feed the World* (p. 119). Wageningen (Ede), Pays-Bas: Wageningen Academic Publishers.
- Dussault, M. (2017). *Étude de faisabilité du déploiement de l'industrie des insectes destinés à l'alimentation humaine au Québec* (Essai de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec.
- Ecoinvent. (s.d.). *The ecoinvent Database*. Repéré à <https://www.ecoinvent.org/database/database.html>
- Entosystem. (s.d.). *Entosystem*. Repéré à <http://entosystem.com/>
- Environnement Canada. (2013). *Document technique sur la gestion des matières organiques municipales*. Repéré à https://www.ec.gc.ca/gdd-mw/3E8CF6C7-F214-4BA2-A1A3-163978EE9D6E/13-047-ID-458-PDF_accessible_FRA_R2-reduced%20size.pdf
- Etrie Aide. (s.d.). *Etrie Aide – Une ressource très humaine*. Repéré à <http://estrieaide.com/>
- Fondation Rock Guertin. (s.d.). *Fondation Rock Guertin: La faim justifie les moyens*. Repéré à <https://rockguertin.com/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (s.d.a). *La contribution des insectes à la sécurité alimentaire, aux moyens de subsistance et à l'environnement*. Repéré à <http://www.fao.org/docrep/018/i3264f/i3264f00.pdf>
- FAO. (s.d.b). *Production animale*. Repéré à <http://www.fao.org/animal-production/fr/>

- Lachance, C. (2011). *Alternatives à l'enfouissement des matières résiduelles putrescibles : Que faire des matières putrescibles à la lumière de la 3^e Politique québécoise de gestion des matières résiduelles?* (Essai de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada.
- Les Banques Alimentaires du Québec (BAQ). (2017). *Bilan-Faim Québec 2017*. Repéré à https://www.banquesalimentaires.org/wp-content/uploads/2017/11/BAQ_Bilan-Faim-Quebec-2017.pdf
- Les consultants S.M. inc. (2012). *Inventaire des matières résiduelles d'origine autre que résidentielle de l'Estrée*. Repéré à https://www.environnementestrie.ca/imports/pdf/gmr/gmr_natures_autres/Rapport%20complet_VF.pdf
- Macquet, P. (2014). *Rapport d'estimation des quantités générées en vue de la révision du plan de gestion des matières résiduelles de la Ville de Sherbrooke*. (Rapport technique). Repéré à https://www.ville.sherbrooke.qc.ca/fileadmin/fichiers/environnementsherbrooke.ca/Plandegestiondesmatieresresiduelles/projet_modif_20162020/annexe10.pdf
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de Parcs (MDDEP). (2011). *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles : Plan d'action 2011-2015*. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/pgmr/presentation.pdf>
- Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (s. d.a). *Ta curiosité est piquée par les 3RV?*. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/jeunesse/chronique/2005/0512-3rv.htm>
- MDDELCC. (s. d.b). *Saine gestion des matières résiduelles*. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/gestion.htm>
- Ménard, É. (2013). *Gaspillage alimentaire et insécurité alimentaire; Pistes de solution pour lutter simultanément contre deux problèmes majeurs* (Essai de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec.
- Moisson Estrie. (s.d.a). *Moisson Estrie*. Repéré à <https://www.moissonestrie.com/>
- Moisson Estrie. (s.d.b). *À propos*. Repéré à <https://www.moissonestrie.com/a-propos/>
- Olivier, M. (2014). *Comment mettre en valeur les matières putrescibles?*. Repéré à https://www.environnementestrie.ca/site/activites/gmr/2014/conference%20richesse%20GMR/Marc_J_Olivier.pdf
- Olivier, M. (2016). *Matières résiduelles et 3RV-E : Bâtir l'économie circulaire* (2^e éd.). Saint-Robert, Québec : Lab Éditions.
- Oonincx D.G.A.B., de Boer I.J.M. (2012) Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment. *PLoS ONE*, 7(12): e51145.
- Oonincx, D.G.A.B., van Itterbeeck, J. Heetkamp, M.J.W., van den Brand, H. van Loon, J.J.A., van Huis, A. (2010). An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. *PLoS ONE*, 5(12): e14445.

- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (2014). Insectes comestibles: Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale. Repéré à <http://www.fao.org/3/a-i3253f.pdf>
- Organisation internationale de normalisation (ISO). (2006a). *Management environnemental : Analyse du cycle de vie : Exigences et lignes directrices*. Norme internationale ISO 14044. Genève, Suisse : auteur.
- Organisation internationale de normalisation (ISO). (2006b). *Management environnemental : Analyse du cycle de vie : Principes et cadre*. Norme internationale ISO 14040. Genève, Suisse : auteur.
- Primeau, C. (2014). *Modes de gestion des biosolides des usines de pâtes et papiers au Québec : Analyse comparative* (Essai de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada.
- P.S. Makkar, H., Tran, G., Heuzé, V. et Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197(2014), 1-33.
- Quantis et Groupe AGÉCO. (2012). *Lignes directrices pour la réalisation d'analyses du cycle de vie environnementale et socioéconomique : Secteur de l'alimentation animale au Québec*. Repéré à <http://fdta.qc.ca/wp-content/uploads/2017/08/ACV-alimentation-animale-lignes-directrices.pdf>
- Radio-Canada. (2016, 2 octobre). Déménagement de Moisson Estrie : Sherbrooke accepte le changement de zonage. *Radio-Canada*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/806427/moisson-estrie-demenagement-sherbrooke>
- Radio-Canada. (2018, 11 mars). Produire des larves à grande échelle... à Sherbrooke. *Radio-Canada*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1088595/produire-des-larves-a-grande-echelle-a-sherbrooke>
- Raubenheimer, D. et Rothman, J.M. (2012). Nutritional Ecology of Entomophagy in Humans and Other Primates. *Annual Review of Entomology*, 58(2013), 141-60.
- Recanatì, F., Marveggio, D. et Dotelli, G. (2018). From beans to bar : A life cycle assessment towards sustainable chocolate supply chain. *Science of the Total Environment*, 613-614 (2018), 1013-1023.
- Recyc-Québec. (2017). *Bilan 2015 de la gestion des matières résiduelles au Québec*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/bilan-gmr-2015.pdf>
- Recyc-Québec. (2015). *Pratiques favorisant la récupération des matières organiques dans les industries, commerces et institutions (ICI)*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/pratiques-favorisant-recup-mo-ici.pdf>
- Règlement sur les aliments du bétail, DORS/83-593, Annexe IV.
- Rumpold, B.A. et Schlüter, O.K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57(3), 802-823.
- Sánchez-Muros, M.-J., Barraso, F.G. et Manzano-Agugliaro, F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65(2014), 16-27.

- Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S. et Savastano, D. (2017). Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. *Journal of Cleaner Production*, 140(2), 890-905.
- Santé Canada. (2018). Fichier canadien sur les éléments nutritifs (FCÉN) – Recherche par aliment. Repéré à https://aliments-nutrition.canada.ca/cnf-fce/newSearch-nouvelleRecherche.do?action=new_nouveau
- Savoie, D. (2014, 22 juillet). Les Québécois encore frileux à l'idée de manger des insectes. *Radio-Canada*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/677057/insectes-entomophagie-nourriture-elevage-consommation-humaine>
- Sherbrooke-innopole. (2018, 24 avril). Lancement de Synergie Estrie – Une collaboration locale, une compétitivité globale. *Sherbrooke-innopole*. Repéré à <https://sherbrooke-innopole.com/fr/nouvelles/lancement-de-synergie-estrie-une-collaboration-locale-une-competitivite-globale/>
- Siemianowska, E., Kosewska, A., Aljewicz, M., Skibniewska, K.A., Polak-Juszczak, L., Jarocki, A. et Jędras, M. (2013). Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agricultural Sciences*, 04(06), 287-291. Repéré à http://file.scirp.org/pdf/AS_2013062709073464.pdf
- Silvestri, S., Cristoforetti, A. et Mescalchin, E. (2011). *Recovery of pruning waste for energy use : agronomic, economic and ecological aspects*. Repéré à https://openpub.fmach.it/retrieve/handle/10449/19897/520/Silvestri_ppt.pdf
- SimaPro. (s.d.a). *About SimaPro*. Repéré à <https://simapro.com/about/>
- SimaPro. (s.d.b). *Enabling fact-based sustainability*. Repéré à <https://simapro.com/>
- Simard Tremblay, I. (2015). *Comment réduire le gaspillage alimentaire dans l'industrie agroalimentaire au Québec?* (Essai de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec.
- Smetana, S., Palanisamy, M., Mathys, A. et Heinz, V. (2016). Sustainability of insect use for feed and food : Life Cycle Assessment perspective. *Journal of Cleaner Production*, 137(2016), 741-751.
- SOLINOV. (2009). *Analyse du potentiel de codigestion à la ferme de matières organiques provenant des secteurs municipal, industriel, commercial et institutionnel (ICI)*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/analyse-potentiel-codigestion-mo.pdf>
- SOLINOV. (2013). Portrait du gisement de résidus organiques de l'industrie agroalimentaire au Québec et estimation des aliments consommables gérés comme des résidus par les ICI de la filière de l'alimentation. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/valorisation/Portrait-gisement-residus-organiques-industrie-agroalimentaire.pdf>
- Sprangers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Ovynd, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., ... De Smet, S. (2016). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(2017), 2594-2600.

- Taillefer, S. (2015). *Installations de traitement des matières organiques au Québec : lieux existants et projets en cours*. Repéré à http://www.compost.org/conf2015/Organics_Recycling_Advances_Across_Canada-Avancees_en_Recyclage_des_Matieres_Organiques_au_Canada/InstallationsdetraitementdesmatieresorganiquesauQuebecSTailleferRQ.pdf
- Taillefer, S. (2010). *Les matières organiques – fiche informative*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/Fiche-info-matieres-organiques.pdf>
- Taillefer, S. (2017). *Portrait de la gestion des matières résiduelles au Québec : Bilan 2015*. Repéré à http://www.compost.org/English/PDF/WRW_2017/QC/1-Bilan_2015_Portrait_de_la_gestion_des%20matieres_organiques_au_Quebec_S-Taillefer_RQ.pdf
- Tarasuk, V., Mitchell, A. et Dachner, N. (2014). *L'insécurité alimentaire des ménages au Canada 2014*. Repéré à <https://www.cwp-csp.ca/resources/sites/default/files/resources/Ins%C3%A9curit%C3%A9-alimentaire-des-m%C3%A9nages-au-Canada-2014.pdf>
- Trudel, M.-È. (2018, 27 février). Des vers bios pour des canards du Centre-du-Québec. *Radio-Canada*. Repéré à https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1084583/des-vers-bios-pour-des-canards-du-centre-du-quebec?cid=ci_sw-rcca_bns_ext_autopr-unit_insectes-dans-notre-assiette_vitrine
- Trudel, M.-È. (2018, 26 février). Un projet de production d'insectes pour la consommation humaine à Louiseville. *Radio-Canada*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1085825/un-projet-de-production-dinsectes-pour-la-consommation-humaine-a-louiseville>
- United States Department of Agriculture (USDA). (2017). Codex Alimentarius Commission. Repéré à <https://www.fsis.usda.gov/wps/portal/fsis/topics/international-affairs/us-codex-alimentarius/Codex+Alimentarius+Commission>
- USDA. (2018). Welcome to the USDA Food Composition Databases. Repéré à <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (s.d.). *Sustainable Management of Food: Food Recovery Hierarchy*. Repéré à <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/food-recovery-hierarchy>
- Université Virtuelle Environnement et Développement Durable (UVED). (s. d.a). Méthodologie de l'analyse de cycle de vie (ACV): Cadre normatif (cycle de normes ISO 14000). Repéré à http://stockage.univ-valenciennes.fr/MenetACVBAT20120704/acvbat/chap03/co/ch03_140_3-1.html#footnotesN10274
- UVED. (s. d.b). Méthodologie de l'analyse de cycle de vie (ACV): Introduction. Repéré à http://stockage.univ-valenciennes.fr/MenetACVBAT20120704/acvbat/chap03/co/ch03_150_3-2-0.html
- UVED. (s. d.c). Méthodologie de l'analyse de cycle de vie (ACV): Historique et génèse. Repéré à http://stockage.univ-valenciennes.fr/MenetACVBAT20120704/acvbat/chap03/co/ch03_020_1-2.html

- van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58(1): 563–583.
- Ville de Sherbrooke. (2016). *Plan de gestion des matières résiduelles 2016-2020*. Repéré à https://www.ville.sherbrooke.qc.ca/fileadmin/fichiers/environementsherbrooke.ca/Plandegestiondesmatieresresiduelles/PGMR_2016-2020_SEPT-2016_compVF_ENVIGUEUR_ss_annexes.pdf
- Wang, Y.-S. et Shelomi, M. (2017). Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods*, 6(91): 1-23.

ANNEXE 1 : EXIGENCES DE COMPOSITION DE DIFFÉRENTS TYPES DE CHOCOLATS

Le tableau A.1 présente une synthèse des exigences de composition des différents types de chocolats selon la norme CODEX STAN 87-1981.

Tableau A.1 Synthèse des exigences de composition des différents types de chocolat (adapté de CAC, 2003)

Produits	Constituants (%)						
Catégories de chocolat	Beurre de cacao	Composants secs dégraissés de cacao	Composants secs de cacao	Matière grasse laitière	Extraits secs laitiers totaux	Amidon / Farine	Noisettes
Catégories de chocolat (composition)							
Chocolat	≥ 18	≥ 14	≥ 35				
Chocolat à la taza	≥ 18	≥ 14	≥ 35			< 8	
Chocolat sucré	≥ 18	≥ 12	≥ 30				
Chocolat familial à la taza	≥ 18	≥ 12	≥ 30			< 18	
Chocolat de couverture	≥ 31	≥ 2,5	≥ 35				
Chocolat au lait		≥ 2,5	≥ 25	≥ 2,5-3,5	≥ 12-14		
Chocolat de ménage au lait		≥ 2,5	≥ 20	≥ 5	≥ 20		
Chocolat de couverture au lait		≥ 2,5	≥ 25	≥ 3,5	≥ 14		
Autres produits de chocolat							
Chocolat blanc	≥ 20			≥ 2,5-3,5	≥ 14		
Chocolat aux noisettes Gianduja		≥ 8	≥ 32				≥ 20 et ≤ 40
Chocolat au lait aux noisettes Gianduja		≥ 2,5	≥ 25	≥ 2,5-3,5	≥ 10		≥ 15 et ≤ 40

Tableau A.1 Synthèse des exigences de composition des différents types de chocolat (suite)

Produits	Constituants (%)						
Catégories de chocolat	Beurre de cacao	Composants secs dégraissés de cacao	Composants secs de cacao	Matière grasse laitière	Extraits secs laitiers totaux	Amidon / Farine	Noisettes
Chocolat para mesa							
Chocolat para mesa	≥ 11	≥ 9	≥ 20				
Chocolat para mesa demi-amer	≥ 15	≥ 14	≥ 30				
Chocolat para mesa amer	≥ 22	≥ 18	≥ 40				
Catégories de chocolat (formes)							
Vermicelles de chocolat / Flocons de chocolat	≥ 12	≥ 14	≥ 32				
Vermicelles de chocolat au lait / Flocons de chocolat au lait		≥ 2,5	≥ 20	≥ 3	≥ 12		
Chocolat fourré	Le chocolat fourré est un produit enrobé d'un ou plusieurs des chocolats [...] dont la partie centrale se distingue nettement, par sa composition, de l'enrobage. [...] La partie chocolat de l'enrobage doit représenter au moins 25 % du poids total du produit concerné.						
Bonbon au chocolat ou praline	Un bonbon de chocolat ou une praline désigne un produit de la taille d'une bouchée, où la quantité de composant chocolat ne doit pas être inférieure à 25 % du poids total du produit. Le produit consistera soit de chocolat fourré, soit d'un chocolat ou d'une combinaison de chocolats [...].						

ANNEXE 2 : TYPES ET SOURCES DES DONNÉES

Le tableau A.2 présente le type et la source des données utilisées pour la réalisation de l'ACV.

Tableau A.2 Type et sources des données utilisées pour la réalisation de l'ACV

Scénario/sous-scénario	Processus	Type de données	Source
Scénario 0 : Référence	-Quantité de résidus par sous-scénario	-Primaire	-Chocolat Lamontagne
Refonte	-Consommation énergétique des équipements	-Spécifique	-Étude de faisabilité réalisée par la firme Systèmes Énergie TST inc.
	-Temps d'utilisation des équipements	-Primaire	-G.-P. Langelier, courriel, 21 août 2018
	-Impact de l'usine	-Générique	-Banque de données <i>ecoinvent</i>
	-Production de chocolat	-Secondaire	-Recanati, Marveggio et Dotelli (2018)
	-Proportion de chocolat par fournisseur	-Primaire	-Chocolat Lamontagne
	- Distance de transport	-Primaire	-Cartographie électronique
	-Type de transport	-Générique	- Banque de données <i>ecoinvent</i>
Alimentation animale	-Impact de l'usine	-Générique	-Banque de données <i>ecoinvent</i>
	-Production de la moulée	-Générique	-Banque de données <i>Agri-footprint</i>
	-Distance de transport	-Primaire	-Cartographie électronique
	-Type de transport	-Primaire	-B. Chapdelaine, courriel, 8 mai 2018
	-Remplacement de la nourriture par le chocolat	-Estimation	- Banque de données <i>ecoinvent</i>
Enfouissement	-Opérations du centre de transbordement	-Primaire	- Confidentiel
	-Distance de transport	-Primaire	-Cartographie électronique
	-Type de transport	-Générique	- Banque de données <i>ecoinvent</i>
	-Enfouissement	-Générique	-Banque de données <i>ecoinvent</i>
Dons alimentaires	-Proportion de chocolat par organisme	-Primaire	-B. Chapdelaine, courriel, 27 juillet 2018
	-Distance de transport	-Primaire	-Cartographie électronique
	-Type de transport	-Générique	- Banque de données <i>ecoinvent</i>
	-Entreposage	-Générique	- Banque de données <i>ecoinvent</i>

Tableau A.2 Type et sources des données utilisées pour la réalisation de l'ACV (suite)

Scénario/sous-scénario	Processus	Type de données	Source
Scénario 1 : Compostage	-Distance de transport	-Primaire	-Cartographie électronique
	-Type de transport	-Générique	-Banque de données <i>ecoinvent</i>
	-Activités de compostage	-Générique	-Banque de données <i>ecoinvent</i>
	-Fertilisant évité par le compost	-Secondaire	-Salomone et al. (2017)
	-Quantité de fertilisant évité par le compost	-Estimation	-Estimation basée sur Salomone et al. (2017)
Scénario 2 : Entomoculture	-Données d'inventaire	-Secondaire	-Salomone et al. (2017)
	-Rendement énergétique de la bouilloire	-Estimation	
	-Consommation énergétique de la bouilloire	-Générique	- Silvestri, Cristoforetti et Mescalchin (2011)
	-Quantité de résidus organiques	-Estimation	-Basée sur Salomone et al. (2017)
	-Fin de vie des résidus organiques	-Générique	-Banque de données <i>ecoinvent</i>

ANNEXE 3 : RÉSULTATS DES CATÉGORIES DE PROBLÈMES

L'annexe 3 contient les résultats des impacts du cycle de vie en fonction des différentes catégories de problèmes, ou les catégories *mid-point*.

La figure A.1 présente une comparaison des impacts du cycle de vie du scénario de référence et des deux scénarios de traitement des résidus de chocolat en fonction des différentes catégories de problèmes.

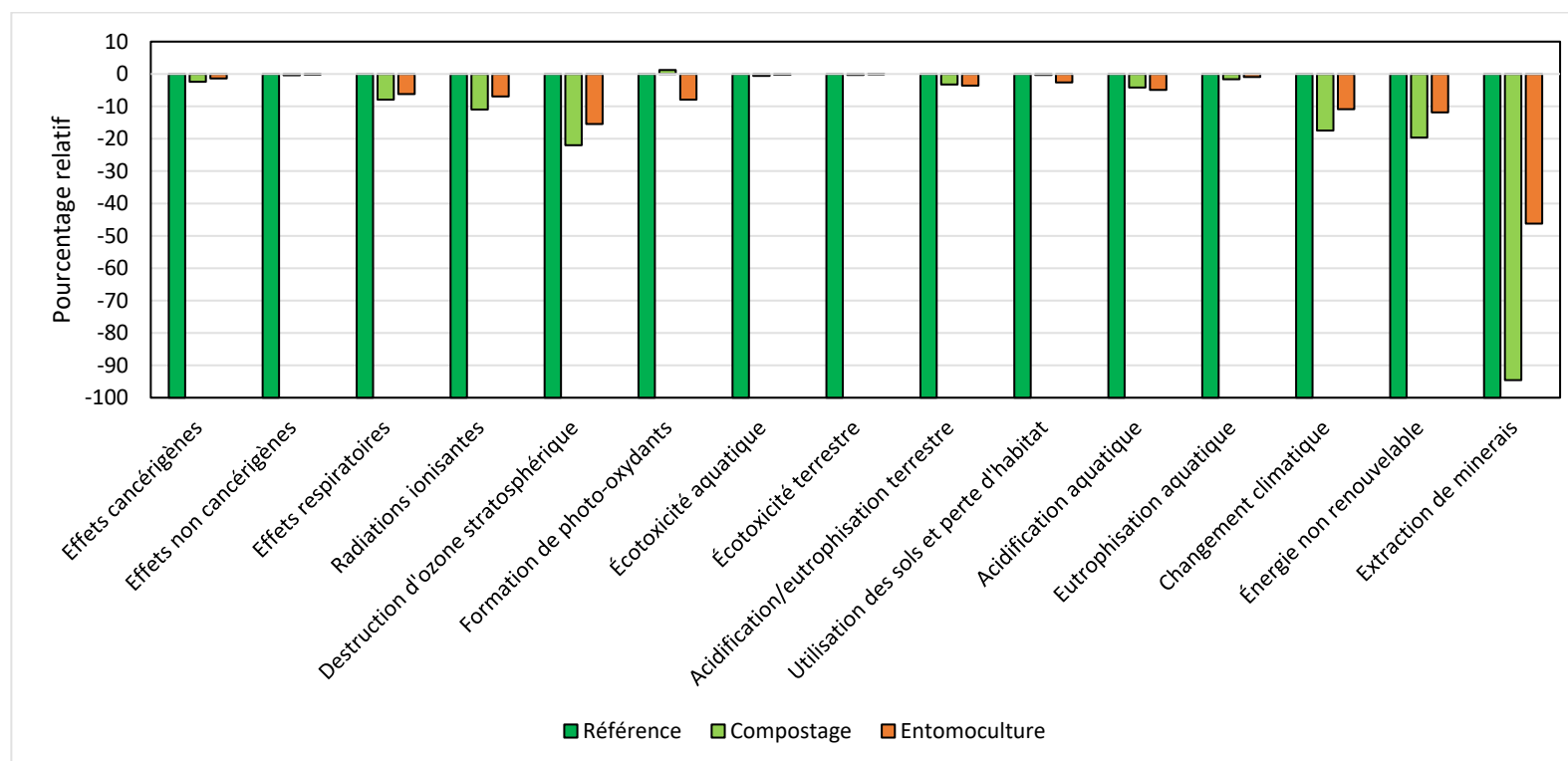


Figure A.1 Comparaison des impacts du cycle de vie du scénario de référence et des deux scénarios de traitement du chocolat en fonction des différentes catégories de problèmes

La figure A.2 présente une comparaison des impacts des 4 sous-scénarios de référence avec les 2 scénarios de traitement du chocolat en fonction des différentes catégories de problèmes.

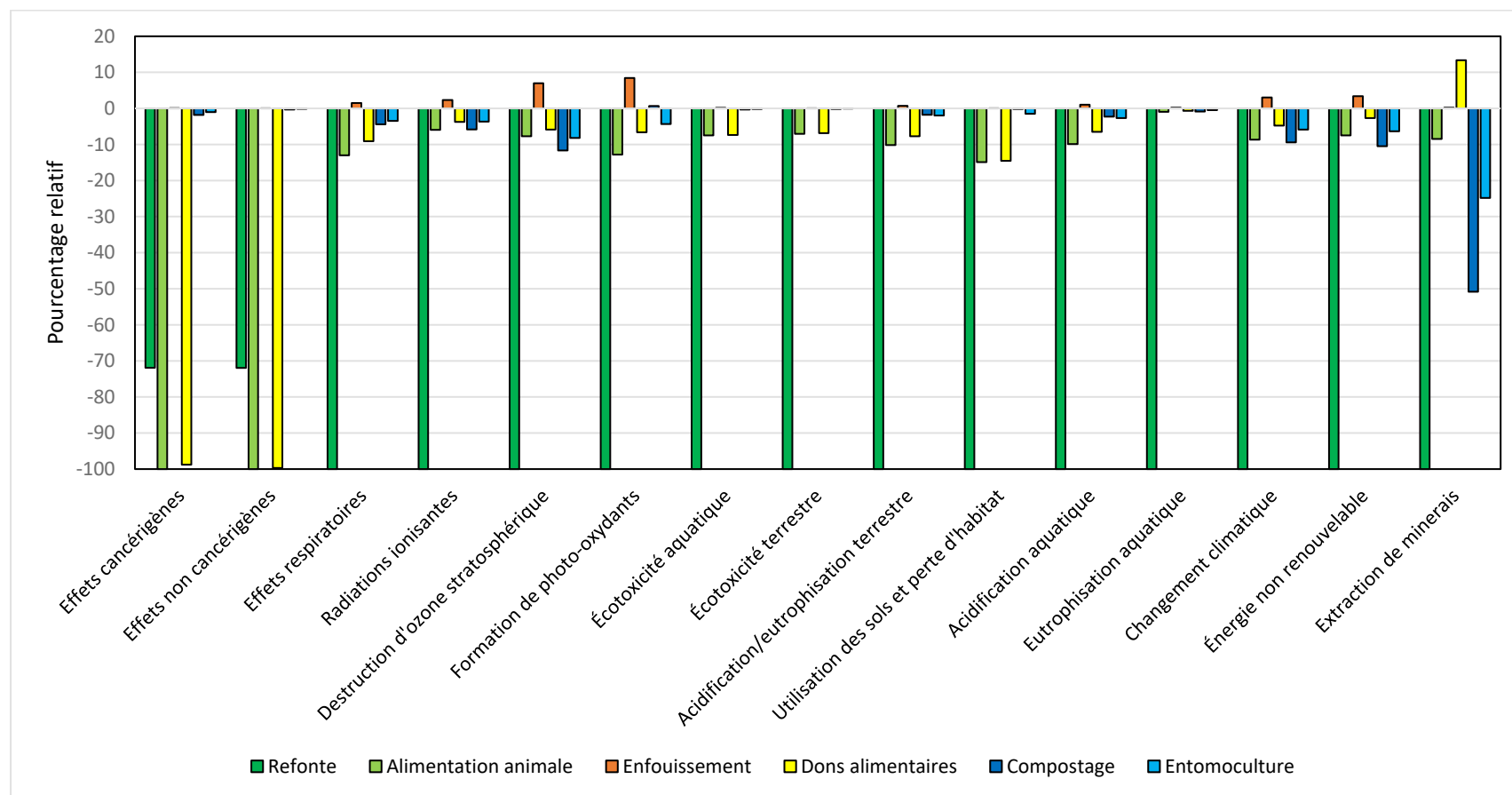


Figure A.2 Comparaison des impacts des 4 sous-scénarios de référence avec les 2 scénarios de traitement du chocolat en fonction des différentes catégories de problèmes

La figure A.3 présente les résultats de la comparaison des 4 sous-scénarios de référence en fonction des différentes catégories de problèmes.

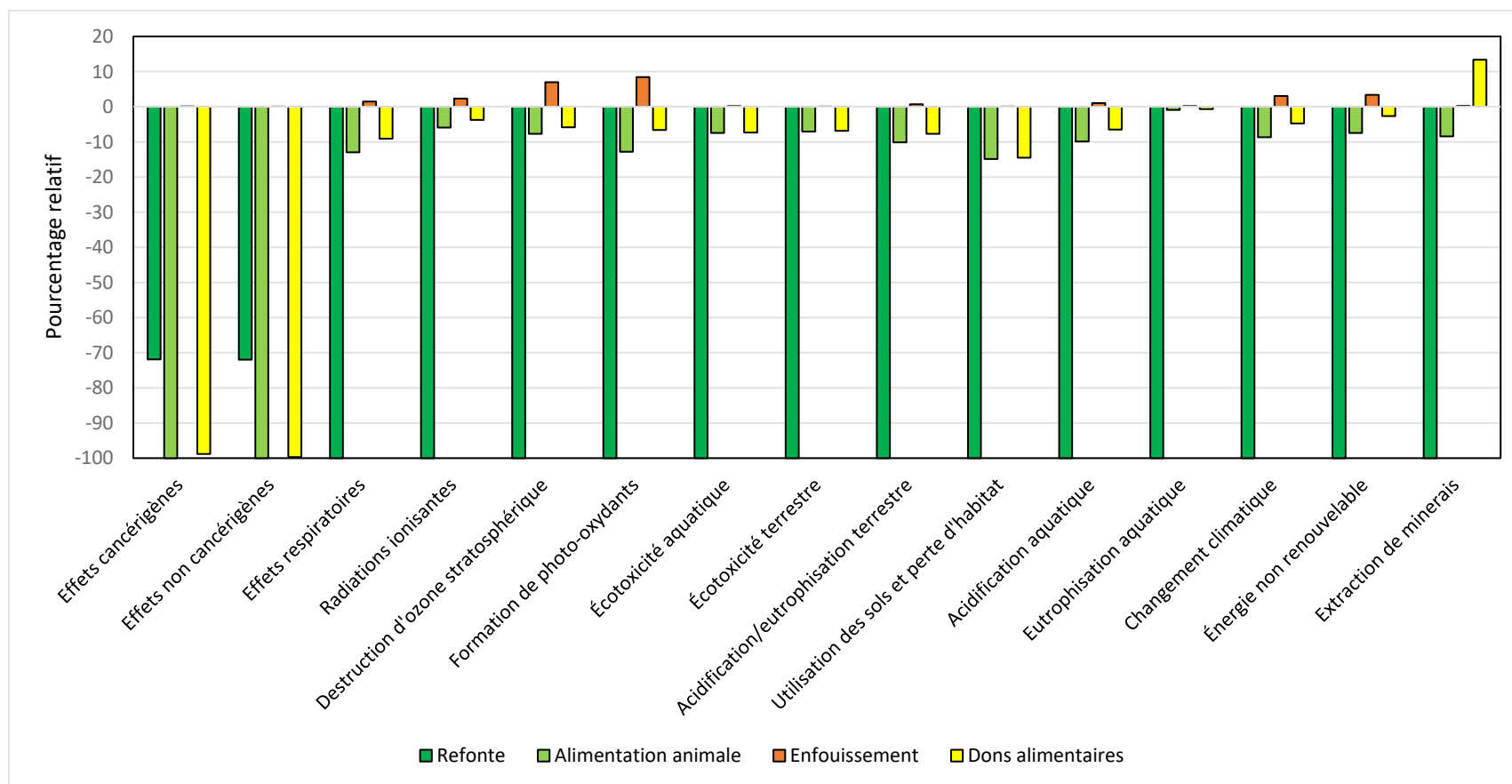


Figure A.3 Comparaison des 4 sous-scénarios de référence en fonction des différentes catégories de problèmes

La figure A.4 présente les résultats de la comparaison des 2 sous-scénarios de référence qui ont le plus grand potentiel de changement avec les 2 scénarios de traitement du chocolat en fonction des différentes catégories de problèmes.

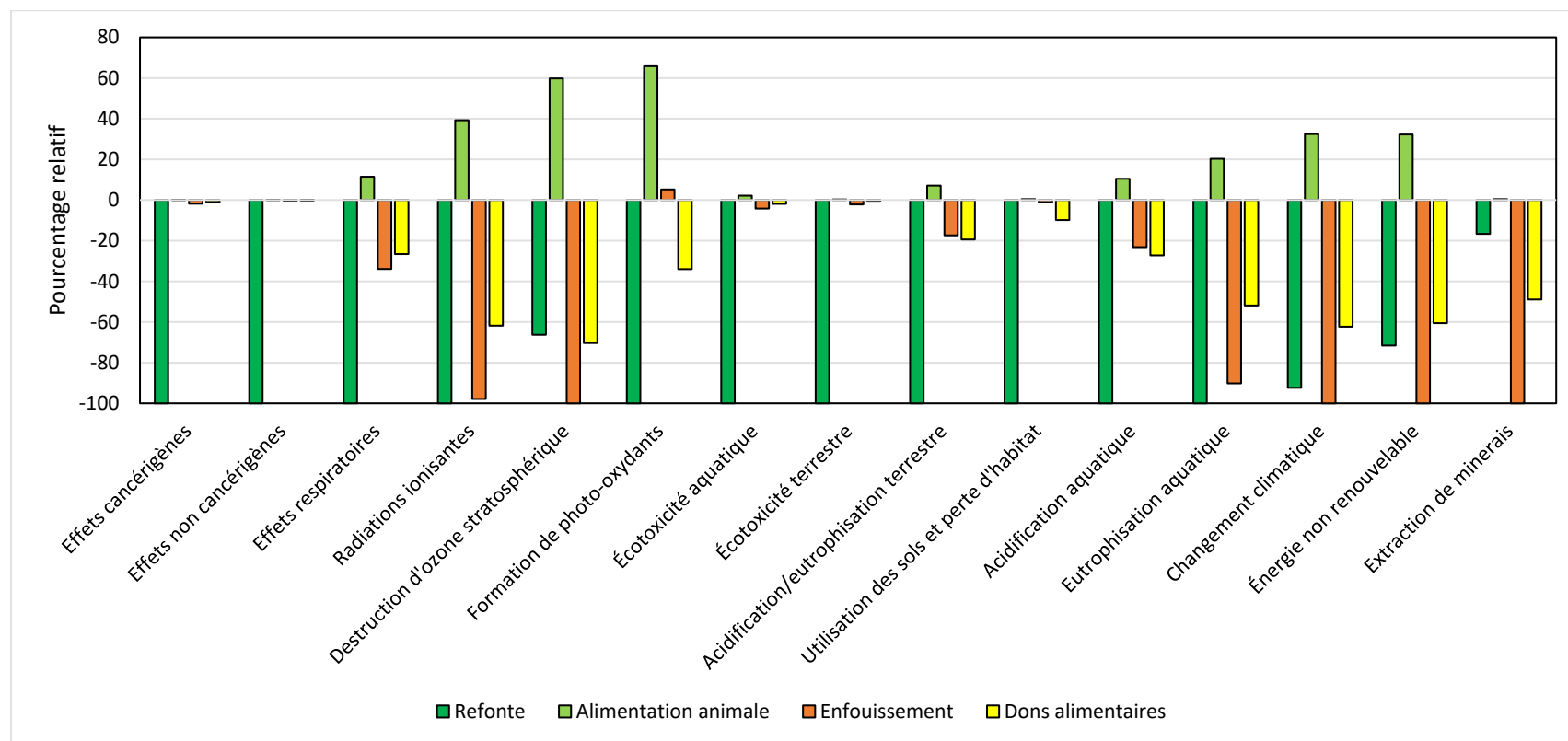


Figure A.4 Comparaison des 2 sous-scénarios de référence qui présentent le plus grand potentiel de changement avec les 2 scénarios de traitement du chocolat en fonction des différentes catégories de problèmes